

**MAGNETORESISTIVE ELEMENT AND MAGNETIC MEMORY**

Patent Number: JP2003008105  
Publication date: 2003-01-10  
Inventor(s): ODAKAWA AKIHIRO; MATSUKAWA NOZOMI; SUGITA YASUNARI  
Applicant(s): MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD  
Requested Patent: JP2003008105  
Application Number: JP20010190984 20010625  
Priority Number(s):  
IPC Classification: H01L43/08; G01R33/09; G11B5/39; G11C11/14; H01F10/16; H01F10/32; H01L27/105  
EC Classification:  
Equivalents:

---

**Abstract**

---

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a field-effect magnetoresistive element and a preferable example of device constitution.

**SOLUTION:** This magnetoresistive element is composed of a first magnetic body with which the element is constituted by attaching a magnetic spin suppressing layer to the body, and a second magnetic body which is not in contact with a magnetic spin layer. Conductivity control is performed by connecting the first and second magnetic bodies to each other through a conductor which mainly rules ballistic conduction, and by impressing an electric field upon the conductor or urging the conductor to induce carries. The second magnetic body which is not in contact with the magnetic spin layer is utilized for a magnetic memory, reconfigurable circuit, etc., as a free magnetic body.

---

Data supplied from the **esp@cenet** database - I2

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2003-8105

(P2003-8105A)

(43) 公開日 平成15年1月10日 (2003.1.10)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	フォーマット* (参考)
H 0 1 L 43/08		H 0 1 L 43/08	Z 2 G 0 1 7
G 0 1 R 33/09		C 1 1 B 5/39	5 D 0 3 4
G 1 1 B 5/39		G 1 1 C 11/14	A 5 E 0 4 9
G 1 1 C 11/14		H 0 1 F 10/16	5 F 0 8 3
H 0 1 F 10/16		10/32	

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 21 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2001-190984(P2001-190984)

(22) 出願日 平成13年6月25日 (2001.6.25)

(71) 出願人 000003821

松下電器産業株式会社

大阪府門真市大字門真1006番地

(72) 発明者 小田川 明弘

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
産業株式会社内

(72) 発明者 松川 望

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
産業株式会社内

(74) 代理人 10009/445

弁理士 岩橋 文雄 (外2名)

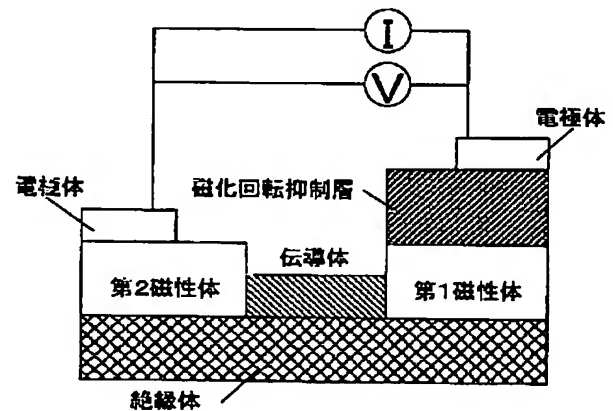
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 磁気抵抗素子および磁気メモリ

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 電界効果型の磁気抵抗素子とその好ましいデバイス構成例を提供する。

【解決手段】 磁化回転抑制層をつけて磁気抵抗素子を構成した第1の磁性体と磁気回転層に接していない第2の磁性体からなり、磁性体間を主としてバリスティック伝導を司る伝導体にて接続し、伝導体に電界印可あるいはキャリア誘起を促し、伝導性制御を行う。磁化回転層に接していない第2の磁性体を自由磁性体として磁気メモリやリコンフィギャラブル回路などに利用する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 少なくとも2つの磁性体のうち、磁化回転抑制層が接した第1磁性体と前記磁化回転抑制層に接していない第2磁性体とが少なくとも1つの伝導体を介して接しており、且つ前記伝導体を挟む2つの磁性体の磁化相対角の変化により抵抗が変化することを特徴とする磁気抵抗素子。

【請求項2】 少なくとも2つの磁性体のうち、磁化回転抑制層が接した第1磁性体と前記磁化回転抑制層と絶縁体を挟むようにして配され、かつ前記磁化回転抑制層に接していない第2磁性体とが、少なくとも1つの伝導体を介して接しており、且つ前記伝導体を挟む2つの磁性体の磁化相対角の変化により抵抗が変化することを特徴とする特徴とする磁気抵抗素子。

【請求項3】 少なくとも2つの磁性体のうち、磁化回転抑制層が接した第1磁性体と前記磁化回転抑制層に接していない第2磁性体とが少なくとも1つの伝導体を介して接しており、前記伝導体の内少なくとも1つが、電子またはホール注入あるいは誘起により前記伝導体を挟む2つの磁性体間の電気抵抗が変化することを特徴とする磁気抵抗素子。

【請求項4】 前記磁化回転抑制層が、反強磁性体または積層フェリ磁性体または高保持力磁性体から選ばれた少なくとも1つからなることを特徴とする請求項1～3のいずれかに記載の磁気抵抗素子。

【請求項5】 前記伝導体が、Si細線であることを特徴とする請求項1～4のいずれかに記載の磁気抵抗素子。

【請求項6】 少なくとも2つの磁性体のうち、磁化回転抑制層が接した第1磁性体と前記磁化回転抑制層に接していない第2磁性体とが少なくとも1つの伝導体を介して積層体を構成しており、且つ前記伝導体を挟む2つの磁性体の磁化相対角の変化により抵抗が変化することを特徴とする磁気抵抗素子。

【請求項7】 前記伝導体が、炭素チューブであることを特徴とする請求項1～6のいずれかに記載の磁気抵抗素子。

【請求項8】 請求項1～7のいずれかに記載の磁気抵抗素子と、前記第2磁性体への磁界印可の手段と前記第2磁性体の磁化方向を読み取る手段とを、それぞれ複数個備えた磁気メモリであり、前記磁気メモリは半導体基板上に集積された半導体スイッチ素子上に配置され、少なくとも前記磁気メモリの読みとり時あるいは書き込み時に接続されていることを特徴とする磁気メモリ。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、情報通信端末などに使用される光磁気ディスク、ハードディスク、デジタルデータストリーマ(DDS)、デジタルVTR等の磁気記録装置の再生ヘッド、回転速度検出用の角速度磁気セ

ンサー、応力変化、加速度変化などを検知する応力または加速度センサーあるいは熱や化学反応による磁気抵抗効果の変化を利用した熱センサーや化学反応センサーに代表される磁気抵抗センサーや、磁気ランダム・アクセス・メモリ(MRAM)、リコンフィギュラブルメモリなどに代表する磁気固体メモリ、あるいは磁気による電流スイッチ(磁気スイッチ)素子、さらには電圧スイッチ素子等関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】磁性を用いたメモリは、磁性体の有するスピンの情報をメモリとして蓄える故に、不揮発なメモリを実現でき、これからの省電力・高速情報端末の実現に優れたデバイスの一つであると考えられている。これまでに、非磁性膜を介して交換結合した磁性膜より成る人工格子膜が、巨大磁気抵抗効果(GMR)を示すことが発見され(M. N. Baibich et.al., Phys. Rev. Lett. 61 (1988) 2472.)、GMR膜を用いたMRAMの提案もなされた(K. T. M. Rannuthu et.al., IEEE Trans. on Magn. 29 (1993) 2593.)。前記のGMR膜の非磁性層はCu等の導体膜であるが、非磁性層に $Al_2O_3$ 等の絶縁膜を用いたトンネル型GMR膜(TMR)の研究も盛んとなり、このTMR膜を用いたMRAMも提案されている。TMR膜を用いたMRAMはGMR膜のものよりも大きな出力と高密度メモリの実現が期待されている。それに伴い、DRAM等の高密度メモリの代替の可能性も検討され始めており、将来の超高密度メモリを目指した、数ナノから数十ナノメートルサイズでのアーキテクチャの確立が待たれている。数ナノから数十ナノメートルサイズのように、伝導に量子的な影響が強く表れるようなサイズ領域になると、従来とは一線を画する素子アーキテクチャが必要とされる。磁性を用いたメモリは、量子であるスピンの情報をメモリとして蓄えているため、スピン情報を直接伝送する、あるいは、伝送スピンを直接制御するといった、新しい素子および回路を提案できるのではないかと期待されている。

## 【0003】

【発明が解決しようとする課題】これまで、スピンの情報を直接伝送するためには、従来のTMR素子のように極薄のトンネルバリアを磁性体間に配して偏極スピントンネル現象を利用することしか実現できていない。これでは、伝送スピンを直接制御するような新しい回路は形成できない。

【0004】本発明は、かかる課題に対して、スピンの伝送経路を長くし、伝送経路にバリスティック的な伝導を可能にする伝導体を用い、その好ましい材料と配置を提供することにより実現する磁気抵抗素子およびそのデバイス構成例を提供することを目的とする。

## 【0005】

【課題を解決するための手段】前記課題を解決するため、本発明は、少なくとも2つの磁性体のうち、磁化回

転抑制層が接した第1磁性体と前記磁化回転抑制層に接していない第2磁性体とが少なくとも1つの伝導体を介して接しており、且つ前記伝導体を挟む2つの磁性体の磁化相対角の変化により抵抗が変化することを特徴とする磁気抵抗素子であり、前記磁化回転抑制層に接していない磁性体を自由磁性体として情報を記録し読み出す磁気メモリや、磁気抵抗効果部の抵抗変化を利用したリコンフィギュラブル回路等、様々な磁気デバイスとして利用することができる。

【0006】また本発明は、少なくとも2つの磁性体のうち、磁化回転抑制層が接した第1磁性体と前記磁化回転抑制層と絶縁体を挟むようにして配され、かつ前記磁化回転抑制層に接していない第2磁性体とが、少なくとも1つの伝導体を介して接しており、且つ前記伝導体を挟む2つの磁性体の磁化相対角の変化により抵抗が変化することを特徴とする特徴とする磁気抵抗素子であり、前記磁化回転抑制層に接していない磁性体を自由磁性体として情報を記録し読み出す磁気メモリや、磁気抵抗効果部の抵抗変化を利用したリコンフィギュラブル回路等、様々な磁気デバイスとして利用することができる。

【0007】また本発明は、少なくとも2つの磁性体のうち、磁化回転抑制層が接した第1磁性体と前記磁化回転抑制層に接していない第2磁性体とが少なくとも1つの伝導体を介して接しており、前記伝導体の内少なくとも1つが、電子またはホール注入あるいは誘起により前記伝導体を挟む2つの磁性体間の電気抵抗が変化することを特徴とする磁気抵抗素子であり、前記磁化回転抑制層に接していない磁性体を自由磁性体として情報を記録し読み出す磁気メモリや、磁気抵抗効果部の抵抗変化を利用したリコンフィギュラブル回路等、様々な磁気デバイスとして利用することができる。

【0008】本発明に関して、磁化回転抑制層が、反強磁性体または積層フェリ磁性体または高保持力磁性体から選ばれた少なくとも1つからなるのが好ましい。

【0009】また、一つの実施形態において伝導体として、炭素チューブを用いるのが好ましい。

【0010】また、一つの実施形態において伝導体として、Si細線を用いるのが好ましい。

【0011】また本発明は、少なくとも2つの磁性体のうち、磁化回転抑制層が接した第1磁性体と前記磁化回転抑制層に接していない第2磁性体とが少なくとも1つの伝導体を介して積層体を構成しており、且つ前記伝導体を挟む2つの磁性体の磁化相対角の変化により抵抗が変化することを特徴とする磁気抵抗素子であり、前記磁化回転抑制層に接していない磁性体を自由磁性体として情報を記録し読み出す磁気メモリや、磁気抵抗効果部の抵抗変化を利用したリコンフィギュラブル回路等、様々な磁気デバイスとして利用することができる。

【0012】ここでも、一つの実施形態において伝導体として、炭素チューブを用いるのが好ましい。

【0013】またさらに本発明は、磁気抵抗素子と前記第2磁性体への磁界印可の手段と前記第2磁性体の磁化方向を読み取る手段とを、それぞれ複数個備えた磁気メモリとして動作し、半導体基板上に集積された半導体スイッチ素子上に配置され、少なくとも本発明の磁気抵抗素子を用いた磁気メモリの読みとり時あるいは書き込み時に半導体スイッチ素子部に接続されて動作する磁気メモリを実現できる。

【0014】

【発明の実施の形態】本発明の磁気抵抗素子について図を用いて説明を行う。

【0015】まず、図1は、磁化回転抑制層、第1磁性層、第2磁性層、伝導層で構成されている。ここでの伝導層は主としてスピン偏極電子が、バリスティック的に、あまり散乱を受けずに伝導を行える伝導層として設けたものである。磁化回転抑制層と接した第1磁性層は固定層として、接していない第2磁性層は自由層として磁気抵抗素子を構成している。素子の抵抗を検出する際には第1磁性層および第2磁性層に電極体を配して行う。図1のように磁化回転抑制層が伝導体でもある場合には磁化回転抑制層上に電極体を配してもよい。

【0016】第1磁性層は、磁化回転抑制層と接することで、磁気的に結合し、磁化回転を困難とすることが望ましい。この際の磁化機転抑制層は高保持力磁性体、積層フェリ磁性体、反強磁性体あるいは積層フェリ磁性体と反強磁性体の多層膜であるのが好ましい。

【0017】前記構成の高保持力磁性体としては、CoPt, FePt, CoCrPt, CoTaPt, FeTaPt, FeCrPtなどの保持力が1000e以上である材料が好ましい。

【0018】また反強磁性体としては、PtMn, PtPdMn, FeMn, IrMn, NiMn等が好ましい。

【0019】また積層フェリ磁性体としては、磁性体と非磁性体の多層構造を持ち、ここで用いられる磁性体として、CoまたはCoを含んだFeCo, CoFeNi, CoNi, CoZrTa, CoZrB, CoZrNb合金等を用い、また非磁性体としては、Cu, Ag, Au, Ru, Rh, Ir, Re, Osあるいはこれらの金属の合金、酸化物を用いるのが好ましい。

【0020】一方で第2磁性層は、第1磁性層に比べて容易な磁化回転を実現し、自由磁性層とする。

【0021】2つのスピン偏極した磁性体同士をバリスティックな伝導が可能な伝導体を介してバイアス印可した場合、2つの磁性体間での磁化相対角の変化を、その抵抗変化として検知することができる。このことは、バリスティック伝導体中を伝わるスピン偏極電子が、スピン散乱をあまり受けずに伝導し、接続された磁性体界面で、そのスピン偏極方向に依存して反射されるために起こる現象と考えられる。

【0022】この際に、本発明のように一方を磁化回転抑制層にて接し、固定磁性層とし、もう一方を磁化回転抑制層にて接していない自由磁性層することにより、磁

化相対角を明瞭にし、その結果高出力を得ことができる。

【0023】図2は図1で示した基本の磁気抵抗素子の動作の様子を模式的に示している。

【0024】図2(a)、図2(b)のように、定電圧バイアス印可のもとでは、2つの磁性体のそれぞれの磁化方向が平行の場合に比べて、そうでない場合の素子に流れる電流値が低下する。

【0025】また、図2(c)、図2(d)のように、定電流バイアス印可のもとでは、2つの磁性体のそれぞれの磁化方向が平行の場合に比べて、そうでない場合の素子に流れる電圧が増加する。

【0026】ここで、第1磁性層または第2磁性層に用いられる材料としては、Fe、Co、Ni、FeCo合金、NiFe合金、CoNi合金、NiFeCo合金、あるいは、FeN、FeTiN、FeAlN、FeSiN、FeTa<sub>2</sub>N、FeCoN、FeCoTiN、FeCo(Al,Si)N、FeCoTa<sub>2</sub>N等の窒化物、酸化物、炭化物、硼化物、フッ化物磁性体に代表されるTMA(Tは、Fe、Co、Niから選ばれた少なくとも1種、Mは、Mg、Ca、Ti、Zr、Hf、V、Nb、Ta、Cr、Al、Si、Mg、Ge、Gaから選ばれた少なくとも1種、またAは、N、B、O、F、Cから選ばれた少なくとも1種)、あるいは(Co, Fe)M(MはTi、Zr、Hf、V、Nb、Ta、Cu、Bから選ばれた少なくとも1種)、あるいはFeCr、FeSiAl、FeSi、FeAl、FeCoSi、FeCoAl、FeCoSiAl、FeCoTi、Fe(Ni)(Co)Pt、Fe(Ni)(Co)Pd、Fe(Ni)(Co)Rh、Fe(Ni)(Co)Ir、Fe(Ni)(Co)Ru、FePt等に代表されるTL(TはFe、Co、Niから選ばれた少なくとも1種、LはCu、Ag、Au、Pd、Pt、Rh、Ir、Ru、Os、Ru、Si、Ge、Al、Ga、Cr、Mo、W、V、Nb、Ta、Ti、Zr、Hf、La、Ce、Pr、Nd、Pm、Sm、Eu、Gd、Tb、Dy、Ho、Er、Tm、Yb、Luから選ばれた少なくとも1種)等の強磁性体、またあるいは、Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>あるいはXMnSb(Xは、Ni、Cu、Ptから選ばれた少なくとも一つ)、LaSrMnO<sub>3</sub>、LaCaSrMnO<sub>3</sub>、CrO<sub>2</sub>に代表されるハーフメタル材料、あるいは、QDA(QはSc、Y、ランタノイド、Ti、Zr、Hf、Nb、Ta、Znから選ばれた少なくとも1種、AはC、N、O、F、Sから選ばれた少なくとも1種、Dは、V、Cr、Mn、Fe、Co、Niから選ばれた少なくとも1種)、あるいはGaMnN、AlMnN、GaAlMnN、AlBMnN等のRDA(Rは、B、Al、Ga、Inから選ばれた1種、Dは、V、Cr、Mn、Fe、Co、Niから選ばれた1種、AはAs、C、N、O、P、Sから選ばれた1種)等に代表される磁性半導体、あるいは、ペロブスカイト型酸化物、フェライト等のスピネル型酸化物、ガーネット型酸化物が好ましい。

【0027】また絶縁体は絶縁性材であれば何れでも良いが、特にMg、Ti、Zr、Hf、V、Nb、Ta、Crを含むIIa～VIA、La、Ceを含むランタノイド、Zn、B、Al、Ga、Siを含むIIb～IVbから選ばれた元素と、F、O、C、N、Bから選ばれた少なくとも元素との化合物、あるいはポリイミドやフタロシアニン系有機分子材料であることが好ましい。

【0028】また伝導体としては、スピン散乱の小さいバリスティック伝導体として用いるために伝導体の幅、厚みは共に100nm以下であることが好ましい。特に室温近傍での動作のためには伝導体の幅・厚みは50nm以下であることがより好ましい。そのような特性を有する伝導体として炭素チューブを用いるのが好ましい。炭素チューブは、単層から多層のものまで種々存在するが、ここではいずれを用いても良い。また、数ナノメートルから数十ナノメートルの幅の高濃度キャリアドープしたSi細線を用いるのが好ましい。また、半導体基体を用いて作成したMOS(Metal-Oxide-Semiconductor)型FET(電界効果トランジスタ)構造あるいはMES(Metal-Semiconductor)型FET構造において形成したチャネル部分を伝導体として構成しても良い。その際にはソース部、ドレイン部は磁性体で構成されていることが好ましく、磁性体は磁性半導体であるのが更に好ましい。また、伝導体の長さは1nm以上1000nm以下であるのが好ましい。

【0029】また電極体は、好ましい材料として非磁性導電性材料、Cu、Al、Ag、Au、Pt、TiNを初め、抵抗率が100μΩcm以下の材料であれば何れでも良い。特に炭素チューブに対してはAuあるいはCr/Auが好ましい。

【0030】また一つの実施の形態として、図3(a)のように、絶縁基体上に磁化回転抑制層が一部配置され、その上に第1磁性体、絶縁基体上に第2磁性体、2つの磁性体間を伝導体が段差形状を横切るように配置されて構成されている。ここでの伝導層体はバリスティック的な伝導を行う伝導体として設けて磁気抵抗素子を構成する。磁化回転抑制層と接した第1磁性体は固定層として、接していない第2磁性体は自由層として磁気抵抗素子を構成している。

【0031】この際、図3(b)のように、絶縁基体上に配置された磁化回転抑制層の端部が傾斜をもって形成されるのが好ましい。このように配置した場合、伝導体の層厚がその角度によって制御できる上で好ましい。特に、好ましくは、角度を25度から70度が適している。この範囲であるとき、最も再現性良く、磁気抵抗素子を作成できた。炭素チューブを用いる場合にも、この範囲にあるとき、炭素チューブの端部での折れ曲がり、その伝導特性が与える影響が少なく好ましい。この際に、この好ましい角度範囲での曲面を有した斜面形状であっても良い。

【0032】また、図3(c)は、磁化回転抑制層上に絶縁体が一部配置され、その上に第2磁性体、磁化回転抑制層に直接接するように第1磁性体、2つの磁性体間を伝導体が段差形状を横切るように配置されて構成されている。ここでの伝導体はバリスティック的な伝導を行う伝導体として設けたものである。磁化回転抑制層と接した第1磁性体は固定層として、接していない第2磁性体は自由層として磁気抵抗素子を構成しており、好ましい。

【0033】磁化回転抑制層と伝導体が直接接する場合には、磁界回転抑制層は半導体あるいは絶縁体であることが好ましい。

【0034】ここで、図3(d)は図3(a)の、図3(e)は図3(b)の、図3(f)は図3(c)の上面配置図の様子をそれぞれ示している。

【0035】図4(a)は非磁性基体中に磁化回転抑制層が一部に形成され、その上に第1磁性体、絶縁基体直上に第2磁性体、2つの磁性体間に伝導体が配置されて構成されている。ここでの伝導体はバリスティックな伝導を行う伝導体として設けたものである。磁化回転抑制層と接した第1磁性体は固定層として、接していない第2磁性体は自由層として磁気抵抗素子を構成している。

【0036】図4(b)は非磁性基体中に磁性層が一部に少なくとも2つ以上形成され、そのうち2つの磁性層間に伝導体が配置され、第1磁性層上の一部に磁化回転抑制層が配置されて構成されている。ここでの伝導体はバリスティックな伝導を行う伝導体として設けたものである。磁化回転抑制層と接した第1磁性層は固定層として、接していない第2磁性層は自由層として磁気抵抗素子を構成している。

【0037】この際、図4(c)のように、第1磁性層上に伝導体を上下で挟み込むように磁性体をさらに積層し、その上に磁化回転抑制層を接触させる方が、第1磁性体を固定層として用いるのに更に好ましい。また第1磁性体および第2磁性体の上に配する磁性体は金属磁性体であることが好ましく、電気的接触が得られやすい上で本配置が好ましい。

【0038】また、図4(d)のように、非磁性基体中に磁性層が一部に少なくとも2つ以上形成され、そのうち2つの磁性層間に伝導層が形成され、第1磁性層上の一部に磁化回転抑制層が配置されて構成されている。ここでの伝導体はバリスティックな伝導を行う伝導層として設けたものである。磁化回転抑制層と接した第1磁性層は固定層として、接していない第2磁性層は自由層として磁気抵抗素子を構成している。

【0039】図4(a)で示した非磁性基体中に形成される磁化回転抑制層は、強磁性あるいは反強磁性を有する磁性半導体にて形成されるのが好ましい。この際、この磁性半導体は基板と同種の元素を少なくとも一つ有し、同種の結晶構造を有するものが好ましい。

【0040】図4(a)、図4(b)、図4(c)、図4(d)で示した磁気抵抗素子において第1磁性層と第2磁性層間の伝導は主として伝導体を介して行われるのが好ましく、その意味から非磁性基体は絶縁性基板または半導体基板であるのが好ましい。

【0041】図4(b)、図4(c)、図4(d)で示した非磁性基体中に形成される第1磁性層および第2磁性層は、強磁性を有する磁性半導体にて形成されるのが

好ましい。この際、この磁性半導体は基板と同種の元素を少なくとも一つ有し、同種の結晶構造を有するものが好ましい。

【0042】ここでも磁化回転抑制層と伝導体が直接接する場合には、磁界回転抑制層は半導体あるいは絶縁体であることが好ましい。

【0043】図5は三端子素子として構成した磁気抵抗素子を示している。

【0044】ゲート電界印可のために伝導体上に絶縁体を介して電極体が配されている。ここでは便宜上、第1磁性体側をドレイン部、第2磁性体側をソース部として示している。

【0045】ゲート電極と伝導体との間に配した絶縁体としては絶縁性材であれば何れでも良いが、特にMg, Ti, Zr, Hf, V, Nb, Ta, Crを含むIIa~VIa、La, Ceを含むランタノイド、Zn, B, Al, Ga, Siを含むIIb~IVbから選ばれた元素と、F, O, C, N, Bから選ばれた少なくとも元素との化合物であるのが好ましい。またフタロシアニン系有機分子材料であっても良い。

【0046】図6は図5で示した基本の三端子構造の磁気抵抗素子の動作の様子を模式的に示している。

【0047】図6(a)のように、第1磁性層と第2磁性層の磁化方向が平行の場合、ゲート電圧を印可しないときには、スピン偏極電子は伝導体を伝わり、磁性体間に一定の電圧バイアスを印可した下では、磁性体間に電流が流れやすい。一方、図6(b)のように、ゲート電圧を印可した場合においては、キャリアが伝導体に誘起され、スピン散乱を促すことにより、検知される磁性体間の電流量は低下する。この際、ゲート電圧に対する素子の抵抗は、図21(a)の様に变化する。

【0048】また、図6(c)のように、第1磁性層と第2磁性層の磁化方向が反平行の場合においては、ゲート電圧を印可しないとき、スピン偏極電子は伝導体を伝わりにくく、一定電圧バイアス印可の下では、磁性体間に電流が流れにくい一方で、図6(d)のようにゲート電圧を印可した場合においては、キャリアが伝導体に誘起され、スピン散乱を促すことにより、実効的にスピン反転した電子が増し、検知される磁性体間の電流量は増加する。この際、ゲート電圧に対する素子の抵抗は、図21(b)の様に变化する。

【0049】この様な三端子構造の磁気抵抗素子は、図7(a)に示すように、図3(a)の伝導体上に絶縁体を介して電界印可用の電極体が配して構成できる。ここでは、図3(a)を用いて示したが、図3(b)、図3(c)を用いても三端子素子が構成できる。

【0050】また、図7(b)のように、図4(a)の伝導体上に絶縁体を介して電界印可用の電極体が配して構成できる。ここでは、図4(a)を用いて示したが、図4(b)、図4(c)を用いても三端子素子が構成できる。

【0051】また、図7(c)のように、図4(d)の伝導体上に絶縁体を介して電界印可用の電極体が配して構成できる。ここではMOS構造あるいはショットキーバリアを介したようなMES構造において形成されるチャネル部分が伝導体として機能する。その際にはソース部、ドレイン部は磁性体で構成されていることが好ましく、磁性体は磁性半導体であるのが更に好ましい。

【0052】更に、図5の配置だけでなく、ゲート電極部を図7(d)のように配しても、好ましい。

【0053】ここで、磁性半導体とは、QDA(QはSc, Y, ランタノイド, Ti, Zr, Hf, Nb, Ta, Znから選ばれた少なくとも1種、AはC, N, O, F, Sから選ばれた少なくとも1種、Dは、V, Cr, Mn, Fe, Co, Niから選ばれた少なくとも1種)、あるいはGaMnN, AlMnN, GaAlMnN, AlBmnnN等のRDA (Rは、B, Al, Ga, Inから選ばれた1種、Dは、V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni から選ばれた1種、AはAs, C, N, O, P, Sから選ばれた1種)等に代表されるものから選択される。

【0054】図8は積層体でのバリスティック伝導を用いた磁気抵抗素子の様子を示している。

【0055】図8(a)のように磁化回転抑制層に接した第1磁性体と接していない第2磁性層の間にバリスティック伝導を担う伝導体配した構成を示している。この様な構成は、図8(b)のように多数の伝導体を配して構成しても良い。また、図8(c)のように多数の伝導体の周辺に非磁性絶縁体を配して構成するのが好ましい。

【0056】また図8(d)のように第2磁性体を第1磁性体に点接触させて構成しても、効果がある。更に別な形態として、図8(e)のように磁性体を伸張させて一部にくびれた細い領域を形成しても同様の効果が得られるため好ましい。この際の伸張部分は少なくとも50nm以下であるのが好ましい。これらの場合、接触部分あるいは伸張部分は超常磁性状態にあり、主としてバリスティック伝導体として機能する。

【0057】図8(a)、図8(b)、図8(c)にて示した伝導体として炭素チューブを用いる場合には、炭素チューブ配向膜作成に適したバッファ層を用いるのが好ましく、磁性膜としても機能するのが最も好ましい。ここでの磁性膜としてはFe、Co、Niが炭素チューブ配向に相応しく、本発明の磁気抵抗素子として、特に $\text{Fe}_x\text{Co}_y\text{Ni}_z$  ( $0.1 \leq x \leq 1.0$ ,  $0 \leq y \leq 0.8$ ,  $0 \leq z \leq 0.9$ ,  $x+y+z=1$ )を用いるのがさらに好ましい。

【0058】上記本発明の構成は、通常の薄膜プロセスと微細加工プロセスを用いて、実現できる。各磁性層、反強磁性層、層間絶縁層、電極等の形成には、パルスレーザーデポジション(PLD)、イオンビームデポジション(IBD)、クラスターイオンビームまたはRF、DC、ECR、ヘリコン、ICPまたは対向ターゲットなどのスパッタリング法、MBE、イオンプレーティング

法等のPVD法や、その他CVD、メッキ法あるいはゾルゲル法で作製することができる。

【0059】また微細加工としては、半導体プロセスや、GMRヘッド作製プロセス等で用いられるイオンミリング、RIE、FIB等の物理的あるいは化学的エッチング法や、微細パターン形成のためにステッパー、EB法等を用いたフォトリソグラフィ技術を組み合わせることによって達成できる。また電極等の表面平坦化のために、CMPや、クラスターイオンビームエッチングを用いることも効果的である。

【0060】また前記構成の磁気抵抗素子を使用することで、読み出し時に高出力を得る磁気メモリが作製できる。

【0061】図12に上記構成の磁気抵抗素子をメモリ素子として用いた磁気メモリの例を示す。メモリとして使用される素子としては、前記構成の磁気抵抗素子の何れの構成でもよい。素子は例えば図12のM(i, j)に代表されるように、CuやAlをベースに作られた記録線であるビット線とワード線の交点にマトリクス様に配置され、それぞれのラインに信号電流を流した時に発生する合成磁界を用いた2電流一致方式により信号情報が記録される。ビット線およびワード線の素子の記録層に対する距離が異なる場合には、素子動作にとって効率的な磁界が記録層に印可するように両線に電流を印可する。

【0062】次に、このアドレッシングの時間を高速化した場合、あるいは記録線間の間隔が狭まることで、記録線同士におに誘導結合電流もしくは、容量性結合電流が発生し、もう一つ別の形態のクロストークが生じることがある。これらを抑制する1つの方法として、図17に示したように、記録線間の間に接地された結合線を設けることが好ましい。図17(a)は結合線をワード線に対して横に配置した場合、あるいは別な形態として、図17(b)のように磁気抵抗素子を挟み込む配置の場合を示している。図17(b)の場合においては、磁界が記録層である自由層に集中しやすく好ましい。また、微細化が進むにつれて、配線厚みが配線幅に比べて大きくなり、縦長の断面形状を持つようになるため、図17(a)のような配置の方が結合が取りやすく好ましい。このような結合線を図13(b)の磁気メモリデバイスにおいて実現した場合、配線配置は図18のような構成となる。

【0063】まず、図13および図14において、磁気メモリデバイスの電流による書き込み動作と、読み込み動作の基本例について説明する。尚、それぞれの図では例として図1に示した磁気抵抗素子をメモリ素子として用いている。

【0064】図13(a)および図13(b)では、素子の磁化状態を個別に読みとるために、素子毎にFETに代表されるスイッチ素子を設けた構成を示している。この磁気メモリは、CMOS基板上に容易に構成できる。また



図13(c)および図13(d)では、素子毎に非線形素子、あるいは整流素子を用いた構成を示している。ここで、非線形素子は、バリスタや、トンネル素子、あるいは前記構成の3端子素子を用いても良い。この磁気メモリは、ダイオードの成膜プロセスなどを増やすだけで、基板を安価がガラス基板上にも作製可能である。ここで、図13(a)および図13(c)は記録層2つとともに素子の上部に、図13(b)および図13(d)は素子の上部・下部に配置した場合の例を示している。また図14では、図13の各図に示したような素子分離のためのスイッチ素子、あるいは整流素子などを用いず、直接ワード線とビット線の交点に素子が配置される構成としている。従って、図14では、読み出し時に複数の素子にまたがって電流が流れるために、読み出しの精度から、10000素子以下であることが望ましい。10000素子以上では、出力が十分得られなくなる。

【0065】図13の各図では、それぞれ、ビット線は素子に電流を流して抵抗変化を読み取るセンス線と併用する場合について示しているが、ビット電流による誤動作や素子破壊を防ぐため、センス線とビット線を別途設けてもよい。このときビット線は、素子と電気的に絶縁された位置で且つ、センス線と平行に配置することが好ましい。また、電流書き込みの場合、ワード線、ビット線とメモリセル間の距離は消費電力の点から500nm程度以下であることが望ましい。

【0066】次に図15および図16に、電流磁界による書き込みを行う、多層配線メモリのセル構造例を示す。図15はFETに代表されるスイッチ素子上に作製した多層配線で、また図16はダイオードやトンネル素子に代表される整流素子あるいは非線形素子を介して形成した多層配線を示す。スイッチ素子や整流素子または非線形素子は、隣接する素子同士の電気的分離を行う働きをする。これらの電気的分離素子がない多層配線の場合、センス感度から、最大個数10000個のメモリセルの集合体を1ブロックとするアーキテクチャを採る必要がある。

【0067】また、ここで説明した磁気抵抗素子の出力検出時には、図19のような検出回路を用いることで実現できる。例えば、配線抵抗を含めた比較抵抗との出力差をとることで、配線抵抗および基準素子抵抗をキャンセルすることができたため、高S/N化が容易に実現できる上で好ましい。

【0068】磁気メモリを構成した場合、比較抵抗は、図20で示したように配置すれば、所望の磁気メモリを構成できる。

【0069】ここで用いられる磁界発生用のワード線やビット線には、導電性が高く、臨界電流密度が $10^6 - 10^7$  A/cm<sup>2</sup>とエレクトロマイグレーションに強いCuを主として用いるのが好ましい。さらに、臨界電流密度が $10^9$  A/cm<sup>2</sup>である炭素チューブを主として用いるのも、高磁界発

生に有効であり、好ましい。

【0070】更に具体的な実施の例を以下に示す。

【0071】(実施例1) まず、SOI (Silicon on Insulator) /SiO<sub>2</sub>基板を用いて、Siの細線を作成した。

【0072】熱酸化と湿式エッチングにより薄膜化したSOI層を熱酸化してSOI(20)/SiO<sub>2</sub>(25)を形成した。ここで、SiO<sub>2</sub>(25)自体をレジスト体として利用し、EB(電子ビーム)加工を施し、5-50nmの幅を有する細線パターン描画を行った。この際の描画に用いたDose量は1-10C/cm<sup>2</sup>であった。現像にはバッファードフッ酸(HF=0.2mol/l、NH<sub>4</sub>=0.2mol/l)を用いて行った。この後、RIE(反応性イオンエッチング)を行って、SOI層を加工し、再び、バッファードフッ酸を用いてレジスト体のSiO<sub>2</sub>層を除去し、所望の5-50nmサイズのSiの細線を得た。この後、PSG(リンケイ酸ガラス)を用いてのリンの熱拡散を800℃で約10分程度行い、細線全体にドーピングして導電性を与えた。この際のキャリア濃度は、 $10^{17} - 10^{21}$ /cm<sup>3</sup>にした。更にSi細線作成後に、細線表面に熱酸化によって1-5nm程度の絶縁酸化膜を作成した。続いて、薄いアモルファスSi層を瞬時熱酸化を行って、径が2-10nm程度のSiドットを細線上に形成した。これにより、単電子チャージングの効果が誘起され、バリスティック的な、あるいはコトンネル的な伝導効果が期待される。この微細加工部分に通常の有機レジスト体を堆積し(図9(a))、その上に多元素パツタを用いて以下の要領でサンプルを作製した。

【0073】サンプル1

Ta(1)/CoFe(15)/Ta(15)

(カッコ内の単位はnm)

図9(b)に示したような、このサンプルにリフトオフなどの工程を通じて、図9(c)に示すように配置形状を得、磁化回転抑制層としての反強磁性体PtMn(45)堆積後(図9(d))、その配置も同様のフォトリソグラフィック工程を経て、図9(e)の構造を作成した。最後に電極体Ta(5)/Cu(200)/Ta(50)を図9(f)に示すように配置することにより、素子を完成させた。

【0074】作成した素子に対して外部から磁界を印可し、電極体間の電気特性を評価した。磁界の印可は細線の長手方向に平行に印可した。評価を行った際の細線のサイズは、幅10nm、厚み20nm、長さ250nm程度であった。

【0075】サンプル1を加工した素子において室温で観測された磁気抵抗変化率は約8%であった。

【0076】より顕著に効果を評価するため、低温下(5K)にて行ったところ、磁気抵抗変化率は最高30%であった。

【0077】ここでは、図9に示した工程により素子加工を実現したが、これに限らずとも同様の構造を有する素子が実現できれば、本発明は所望の効果を発揮するため、これに限らない。



【0078】また、ここでは磁性体としてCoFeを用いたが、Fe、Co、Ni、FeCo合金、NiFe合金、CoNi合金、NiFeCo合金、あるいはFeCr、FeSiAl、FeSi、FeAl、FeCoSi、FeCoAl、FeNiPt、FePd、FeRh、FeIr、FeRu、FePt、FeVにおいても磁気抵抗変化が観測された。

【0079】また伝導体としては、主としてCuを用いたが、Al、Ag、Au、Ptを用いても磁気抵抗変化が観測された。

【0080】また反強磁性体としては、PtMnを用いたが、PtPdMn、FeMn、IrMn、NiMnを用いても磁気抵抗変化が観測された。

【0081】(実施例2) Si/SiO<sub>2</sub>基板上に炭素チューブを真空槽内にて所望の位置に配置し、電極形状パターンをレジストにてあらかじめ形成する。この上に、SiO<sub>2</sub>層を堆積し、その後リフトオフにて電極形状の反転パターンを形成した。

【0082】次に多元スパッタを用いて以下の要領でサンプルを作製した。

#### 【0083】サンプル2

AuCr(0あるいは0.5)/CoFe(45)/Ta(15)

#### サンプル3

AuCr(0あるいは0.5)/AlO(0.5)/CoFe(45)/Ta(15)

(単位はnm)

それから基本的な手法としては図9に示したフォトリソグラフィックな方法を用いて、最終的に図1に示すような素子を完成させた。

【0084】ここで、伝導体として単層炭素チューブを用いて、磁性体間が最小部での長さ約250nm、幅・高さは炭素チューブの直径分に当たり、約3nmであった。伝導体上の保護用の絶縁体としてSiO<sub>2</sub>(200nm)を用いた。反強磁性体としてはPtMn(60)を、電極体としてはTa(5)/Cu(200)/Ta(50)を用いて素子を完成させた。

【0085】なお、AlO( )の( )内の値は、酸化処理前のAlの設計膜厚の合計値を示し、実際にはAlを0.3~0.7nm成膜後、酸素含有雰囲気中で酸化することを繰り返して作製した。本実施例では0.5nmのAlを酸化させて作成している。

【0086】作成した素子に対して外部から磁界を印可し、電極体間の電気特性を評価した。磁界の印可は細線の長手方向に平行に印可した。

【0087】サンプル2を加工した素子において、室温で磁気抵抗効果が観測された。

【0088】より顕著に効果を評価するため、低温下(5K)にて行ったところ、磁気抵抗変化率は最高12%であった(図22参照)。

【0089】またサンプル3を加工した素子においても、磁気抵抗効果が観測された。

【0090】低温下(5K)にて行ったところ、磁気抵抗変化率は最高22%であった。磁性体と伝導体である炭素チューブとの間に絶縁体を介した場合の方が、効率

よくスピン偏極電子の注入が可能であることを示唆している。

【0091】ここでは、図9に示した工程により素子加工を実現したが、これに限らずとも同様の構造を有する素子が実現できれば、本発明は所望の効果を発揮するため、これに限らない。

【0092】また、ここでは磁性体としてCoFeを用いたが、Fe、Co、Ni、FeCo合金、NiFe合金、CoNi合金、NiFeCo合金、あるいはNiFeCo-シアン錯体、あるいはFeN、FeTiN、FeAlN、FeSiN、FeTa<sub>2</sub>N、FeCoN、FeCoTiN、FeCoAlSiN、FeCoTa<sub>2</sub>N、あるいはCoFeV、CoFePt、CoFeTa、CoFeBにおいても磁気抵抗変化が観測された。

【0093】伝導体として、ここでは単層炭素チューブを用いたが、多層の炭素チューブを用いても同様の効果が得られるため、これに限らない。この際のチューブの幅は、2nm~30nm程度である。

【0094】また電極体としては、主としてCuを用いたが、Al、Ag、Au、Ptを用いても磁気抵抗変化が観測された。

【0095】また反強磁性体としては、PtMnだけでなく、PtPdMn、FeMn、IrMn、NiMnを用いても、磁気抵抗変化が観測された。

【0096】あるいは反強磁性体の代わりに高保持力磁性体である、CoPt、FePt、CoCrPt、CoTaPt、FeTaPt、FeCrPtを配置しても実質上、磁性電極の一方が高保磁力を有するため、所望の磁気抵抗変化が観測できた。

【0097】(実施例3) Si/SiO<sub>2</sub>基板上において、多元スパッタを用いて以下の要領でサンプルを作製した。

#### 【0098】サンプル4

NiO(50)/Ta(5)

(単位はnm)

それから基本的な手法としてはフォトリソグラフィックな方法を用いて、所望のパターンにサンプル4の膜を加工し、その後逆スパッタ法を用いてサンプル4膜上層のTaをスパッタしてから、その上に真空槽内にて炭素チューブをサンプル4膜の加工端部の位置に配置し、磁性膜としてAuCr(0あるいは0.5)/AlO(0.5)/CoFe(30nm)/Ta(15)を堆積・加工して、図3(b)の配置の素子を完成させた。このときの斜面の角度を25度から70度とするのが最も適している。この範囲であるとき、最も再現性良く、磁気抵抗素子を作成できた。炭素チューブを用いる場合にも、この範囲にあるとき、炭素チューブの端部での折れ曲がりがあり、その伝導特性が与える影響が少なく好ましい。

【0099】ここで伝導体として単層炭素チューブを用いて、磁性体間が最小部での長さ約250nm、幅・高さは炭素チューブの直径分に当たり、約3nmであった。伝導体上の保護用の絶縁体としてSiO<sub>2</sub>(200nm)を用いている。電極体としてはTa(5)/Cu(200)/Ta(50)を用いて素子を完成させた。

【0100】本実施例にて示すように、磁化回転抑制層である反強磁性層にてあらかじめパターン化しておき、その上に伝導体を配置する方が素子を完成させるのが、図1の配置よりも簡便なため好ましい。更に図3(b)の配置の方が伝導体の微細加工を施す上で、また微小位置に配置する上で、図3(a)の配置よりも簡便なため好ましい。

【0101】外部から磁界を印可し、電極体間の電気特性を評価した。

【0102】サンプル4を加工した素子において、室温で磁気抵抗効果が観測された。

【0103】より顕著に効果を評価するため、低温下(5K)にて行ったところ、磁気抵抗変化率は最高22%であった。

【0104】ここでは、図9に示した工程により素子加工を実現したが、これに限らずとも同様の構造を有する素子が実現できれば、本発明は所望の効果を発揮するため、これに限らない。

【0105】続いて、サンプル4を加工して作成した素子の伝導体である炭素チューブ上に保護用の絶縁体膜SiO<sub>2</sub> (100nm)のかわりに、電界印可用のゲート電極を、別な絶縁体を介して配置した。用いた絶縁体はフタロシアニン膜(5nm)、電極体としてCuフタロシアニン膜(50nm)/Cu(150)/Ta(50)を用いた。

【0106】ゲート電極を用いて、電界印可を-1Vから5Vまで変化させ、その磁気抵抗変化を室温で測定したところ、電界印可がゼロの場合には両磁性層の磁化方向の揃った場合に抵抗が、それ以外に比べて低くなる特性を示している。電界を0から1V印可した場合には磁気抵抗変化は複雑な振る舞いを示し、場合によって、磁化方向の揃った場合に、必ずしも抵抗が低くならなかった。さらに、電界を印可していくと、約5Vで磁気抵抗変化が見られなくなった。これにより、電界印可によって、磁気抵抗特性が制御できる。

【0107】また、ここでは磁性体としてCoFeを用いたが、Fe、Co、Ni、FeCo合金、NiFe合金、CoNi合金、NiFeCo合金を用いても磁気抵抗変化が観測された。

【0108】また、ゲート部の絶縁体としてフタロシアニンを用いたが、ここで炭素チューブとフタロシアニンとの両者の相性は極めて良く、接触界面がなめらかに作成できるという長所が確認された。

【0109】また電極体としては、主としてCuを用いたが、Al、Ag、Au、Ptを用いても磁気抵抗変化が観測された。

【0110】また反強磁性体としては、絶縁性のNiOを用いたが、 $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、CrO/NiO、RFeO<sub>3</sub> (Rは希土類元素で、La、Ce、Pr、Nd、Sm、Eu、Gd、Tb、Dy、Ho、Er、Tm、Yb)を用いても、磁気抵抗変化が観測された。

【0111】(実施例4) 実施例1と同様な手法で、まず、SOI/SiO<sub>2</sub>基板を用いて、Siの細線を作成した。

【0112】所望の5-50nmサイズのSiの細線を得た後、PSG(リンケイ酸ガラス)を用いてのリンの熱拡散を800℃で約10分程度行い、細線全体にドーピングして導電性を与えた。この際のキャリア濃度は、10<sup>19</sup>/cm<sup>3</sup>にした。更にSi細線作成後に、細線表面に熱酸化によって2.5nm程度の絶縁酸化膜を作成した。更にSi細線作成後に、細線表面に熱酸化によって1-5nm程度の絶縁酸化膜を作成した。続いて、薄いアモルファスSi層を瞬時熱酸化を行って、径が2-10nm程度のSiドットを細線上に形成した。これにより、単電子チャージングの効果が期待される。この上にTEOS(テトラエトキシラン)膜を20-100nm程度堆積し、更にこの上にゲート電極としてpoy-Siゲートを作成した。作成したゲート幅はO<sub>2</sub>アッシングの微細化技術を用いて、10-100nmで作成した。本実施例の典型としては、40nm程度であった。この微細加工部分に通常の有機レジスト体を堆積し、その上に多元スパッタを用いて以下の要領でサンプルを作製した。

【0113】サンプル5

Ta(1)/CoFe(15)/Ta(15)

(カッコ内の単位はnm)

素子の作成は実施例1の際と同様、図9の工程に従って行った。最後に電極体Ta(5)/Cu(200)/Ta(50)を図9

(f)に示すように配置することにより、素子を完成させた。また反強磁性体としてPtMn(50)を用いた。

【0114】作成した素子に対して外部から磁界を印可し、電極体間の電気特性を、ゲート電界印可の下で評価した。磁界の印可は細線の長手方向に平行に印可した。

【0115】ゲート電極を用いて、電界印可を-1Vから5Vまで変化させ、その磁気抵抗変化を室温で測定したところ、電界印可がゼロの場合には両磁性層の磁化方向の揃った場合に抵抗が、それ以外に比べて低くなる特性を示している。電界を0から1V印可した場合には磁気抵抗変化は複雑な振る舞いを示し、場合によって、磁化方向の揃った場合に、必ずしも抵抗が低くならなかった。さらに、電界を印可していくと、約5Vで磁気抵抗変化が見られなくなった。これにより、電界印可によって、磁気抵抗特性が制御できる。

【0116】サンプル5を加工した素子において室温で観測された磁気抵抗変化率は約8%であった。

【0117】より顕著に効果を評価するため、低温下(5K)にて行ったところ、磁気抵抗変化率は最高30%であった。

【0118】ここでは、図9に示した工程により素子加工を実現したが、これに限らずとも同様の構造を有する素子が実現できれば、本発明は所望の効果を発揮するため、これに限らない。

【0119】また、ここでは磁性体としてCoFeを用いたが、Fe、Co、Ni、FeCo合金、NiFe合金、CoNi合金、NiFeCo合金、あるいはFeCr、FeSiAl、FeSi、FeAl、FeCoSi、

FeCoAl, FeNiPt, FePd, FeRh, FeIr, FeRu, FePt, FeV においても磁気抵抗変化が観測された。

【0120】また伝導体としては、主としてCuを用いたが、Al、Ag、Au、Ptを用いても磁気抵抗変化が観測された。

【0121】また反強磁性体としては、PtMnを用いたが、PtPdMn、FeMn、IrMn、NiMnを用いても磁気抵抗変化が観測された。

【0122】(実施例5) Si/SiO<sub>2</sub>基板上に炭素チューブを真空槽内にて所望の位置に配置し、電極形状パターンをレジストにてあらかじめ形成する。この上に、SiO<sub>2</sub>層を堆積し、その後リフトオフにて電極形状の反転パターンを形成した。

【0123】次に多元スパッタを用いて以下の要領でサンプルを作製した。

【0124】サンプル6

AuCr(0あるいは0.5)/AlO(0.5)/CoFe(45)/Ta(15)

(単位はnm)

それから基本的な手法としては図9に示したフォトリソグラフィックな方法を用いて、最終的に図7(d)に示すような素子を完成させた。非磁性絶縁体である熱酸化のSiO<sub>2</sub>ゲート酸化膜は約100-300nmで、ゲート電極としてSi基板を利用した。

【0125】ここで、伝導体として単層炭素チューブを用いて、磁性体間が最小部での長さ約150nm、幅・高さは炭素チューブの直径分に当たり、約3nmであった。伝導体上の保護用の絶縁体としてSiO<sub>2</sub>(200nm)を用いた。反強磁性体としてはPtMn(60)を、電極体としてはTa(5)/Cu(200)/Ta(50)を用いて素子を完成させた。

【0126】なお、AlO( )の( )内の値は、酸化処理前のAlの設計膜厚の合計値を示し、実際にはAlを0.3~0.7nm成膜後、酸素含有雰囲気中で酸化することを繰り返して作製した。本実施例では0.5nmのAlを酸化させて作成している。

【0127】作成した素子に対して外部から磁界を印可し、電極体間の電気特性を評価した。磁界の印可は細線の長手方向に平行に印可した。

【0128】サンプル6を加工した素子において、室温で磁気抵抗効果が観測された。

【0129】低温下(5K)にて行ったところ、磁気抵抗変化率は最高20%であった。作成した素子に対して外部から磁界を印可し、電極体間の電気特性を、ゲート電界印可の下で評価した。磁界の印可は細線の長手方向に平行に印可した。

【0130】ゲート電極を用いて、電界印可を-1Vから5Vまで変化させ、その磁気抵抗変化を室温で測定したところ、電界印可がゼロの場合には両磁性層の磁化方向の揃った場合に抵抗が、それ以外に比べて低くなる特性を示している。電界を0から1V印可した場合には磁気抵抗変化は複雑な振る舞いを示し、場合によって、磁化

方向の揃った場合に、必ずしも抵抗が低くならなかった。さらに、電界を印可していくと、約5Vで磁気抵抗変化が見られなくなった。これにより、電界印可によって、磁気抵抗特性が制御できる。

【0131】また、ここでは磁性体としてCoFeを用いたが、Fe、Co、Ni、FeCo合金、NiFe合金、CoNi合金、NiFeCo合金、あるいはNiFeCo-シアン錯体、あるいはFeN、FeTiN、FeAlN、FeSiN、FeTa<sub>2</sub>N、FeCoN、FeCoTiN、FeCoAlSiN、FeCoTa<sub>2</sub>N、あるいはCoFeV、CoFePt、CoFeTa、CoFeBにおいても磁気抵抗変化が観測された。

【0132】伝導体として、ここでは単層炭素チューブを用いたが、多層の炭素チューブを用いても同様の効果が得られるため、これに限らない。この際のチューブの幅は、2nm-30nm程度である。

【0133】また電極体としては、主としてCuを用いたが、Al、Ag、Au、Ptを用いても磁気抵抗変化が観測された。

【0134】また反強磁性体としては、PtMnだけでなく、PtPdMn、FeMn、IrMn、NiMnを用いても、磁気抵抗変化が観測された。

【0135】あるいは反強磁性体の替わりに高保持力磁性体である、CoPt、FePt、CoCrPt、CoTaPt、FeTaPt、FeCrPtを配置しても実質上、磁性電極の一方が高保磁力を有するため、所望の磁気抵抗変化が観測できた。

【0136】(実施例6) GaAs(001)基板上に多元分子線エピタキシー手法を用いて以下の要領でサンプルを作製した。

【0137】サンプル7

GaAs(100)/MnAs(15)

サンプル8

GaAs(100)/MnAs(50)

(単位はnm)

本サンプルでは、GaAs基板に対して、約600℃にてAsフラックス照射による雰囲気下にて基板を清浄化させ、その上にGaAs層をバッファ層として約600℃の高温中にて堆積させ、一旦200~250℃のもとで、わずかのMnフラックス照射の後にMnAs層を堆積させた。堆積したMnAsは(-1101)面を成長面としている。また堆積させた膜の磁化測定から、両サンプルは共に磁化容易軸は[-110]GaAs方位を有していることが確認された。

【0138】このサンプルに図9に示すようなフォトリソグラフィックな手法を用い、マスク材としてポジレジストを所望のパターン形状にて形成し、アルゴンイオン照射によるドライエッチングを用いて、レジストパターン形状になるよう磁性体であるサンプル7、8の薄膜に加工を施す。さらにその上に伝導体を堆積し、リフトオフにより、所望の形状を得る。またここで場合により伝導体をバリスティック伝導を司る形状にすることが必要な場合には、さらにここで説明をしたようなフォトリソグラフィックの手法を用いて、形状加工を行う。ま

た、電子ビームや収束型イオンビーム、走査型トンネル電流観測装置付随の短針などの微細加工に適した関連装置を用いて直接形状加工を行ってももちろん構わないことも確認した。さらに場合によってパシベーションが必要な場合には伝導体上に絶縁膜を堆積する。

【0139】ここで、用いた伝導体はAu (10nm) 膜で、マスク材としてポジレジストを、露光には電子露光技術を用いた。伝導体は磁性電極間が最小部での長さ約80nm、幅は最小部が約10nmにて加工を行った。絶縁膜はSiO<sub>2</sub> (100nm)を用いた。

【0140】次に、サンプル7およびサンプル8ともに、反強磁性体としてPtMn(60)を堆積・加工を施し、電極体として、Ta(5)/Pt(200)/Ta(50)を堆積・加工を施し、図9(f)の構造を実現した。

【0141】外部から磁界を印可し、電極体間の電気特性を評価した。

【0142】サンプル7およびサンプル8を加工した素子において、磁気抵抗効果が観測された。

【0143】より顕著に効果を評価するため、室温下(300K)にて行ったところ、磁気抵抗変化率はサンプル5において、最高10%、サンプル6において最高11%であった。さらに低温下(5K)においては、磁気抵抗変化率はサンプル7において最高18%、サンプル8において最高20%であった。

【0144】さらに、サンプル8の構成にて、伝導体として単層炭素チューブを用い、磁性体間が最小部での長さ約250nm、幅・高さが約20nmにて同様の図9(f)の構成を実現し、電気特性の評価を行った。

【0145】本素子においても、磁気抵抗効果が観測された。

【0146】室温下(300K)にて行ったところ、磁気抵抗変化率は最高13%、さらに低温下(5K)においては、磁気抵抗変化率は最高22%であった。

【0147】ここでは、図9に示した工程により素子加工を実現したが、これに限らずとも同様の構造を有する素子が実現できれば、本発明は所望の効果を発揮するため、これに限らない。

【0148】また、ここでは磁性体としてマンガブニクタイト(Mn-V族元素)であるMnAsを用いたが、同種のMnSb、あるいはQDA(QはSc, Y, ランタノイド, Ti, Zr, Hf, Nb, Ta, Znから選ばれた少なくとも1種、AはC, N, O, F, Sから選ばれた少なくとも1種、Dは、V, Cr, Mn, Fe, Co, Niから選ばれた少なくとも1種)、あるいはGaMnN, AlMnN, GaAlMnN, AlBMnN等のRDA(Rは、B, Al, Ga, Inから選ばれた1種、Dは、V, Cr, Mn, Fe, Co, Niから選ばれた1種、AはAs, C, N, O, P, Sから選ばれた1種)等に代表されるものを用いても磁気抵抗変化が確認されている。

【0149】また伝導体としては、主としてCuを用いたが、Al, Ag, Ptを用いても磁気抵抗変化が観測された。

【0150】また反強磁性体としては、PtMnを用いたが、PtPdMn, FeMn, IrMn, NiMnを用いても磁気抵抗変化が観測された。

【0151】(実施例7) GaAs(001)方位基板上に多元分子線エビタクシー手法を用いて以下の要領でサンプルを作製した。

【0152】サンプル9

GaAs(100)/MnAs(15)

サンプル10

GaAs(100)/MnAs(50)

(単位はnm)

本サンプルでは、GaAs基板を約600℃にてAsフラックス照射による雰囲気中にて基板を清浄化させ、その上にGaAs層をバッファ層として約600℃の高温中にて堆積させ、さらに200~250℃にてAsフラックスを少量照射し、その後As照射に加えてMnを照射していくことでMnAs層を堆積させた。堆積したMnAsは(-110)面を成長面としている。堆積させた膜の磁化測定から、両サンプルはともに、磁化容易軸は[110]GaAs方位を有していることが確認された。

【0153】このサンプルのうちサンプル9に実施例5に示したのと同様の工程によって、図9(f)の構造を実現した。

【0154】用いた伝導体はAu (10nm) 膜で、マスク材としてポジレジストを、露光には電子露光技術を用いた。伝導体は磁性電極間が最小部での長さ約80nm、幅は最小部が約10nmにて加工を行った。絶縁膜はSiO<sub>2</sub> (100nm)を用いた。反強磁性体としてPtMn(60)を、電極体としてTa(5)/Pt(200)/Ta(50)を用いた。

【0155】外部から磁界を印可し、電極体間の電気特性を評価した。

【0156】サンプル7を加工した素子において、磁気抵抗効果が観測された。

【0157】より顕著に効果を評価するため、室温下(300K)にて行ったところ、磁気抵抗変化率は最高13%、さらに低温下(5K)においては、磁気抵抗変化率は最高25%であった。

【0158】一方で、サンプル10は磁化測定の結果から、主として反強磁性体であることが分かった。そこで、サンプル8の膜を所望の形状にフォトリソグラフィックな手法を用いて加工し、その上に磁性体としてCoFeを堆積・加工し、伝導体としてAu (10nm) 膜を用い、マスク材としてはポジレジストを、露光には電子露光技術を用いて、伝導体の長さ約80nm、幅は最小部が約10nmにて加工を行った。その上に絶縁膜SiO<sub>2</sub> (100nm)を堆積した。電極体としてTa(5)/Pt(200)/Ta(50)を用いて、図3(b)の構成を実現した。

【0159】ここでも外部から磁界を印可し、電極体間の電気特性を評価した。

【0160】サンプル10を加工した素子において、磁

気抵抗効果が観測された。

【0161】室温下(300K)にて行ったところ、磁気抵抗変化率は最高16%、さらに低温下(5K)においては、磁気抵抗変化率は最高28%であった。

【0162】さらに、サンプル10の構成にて、伝導体として単層炭素チューブを用い、磁性体間が最小部での長さ約250nm、幅・高さが約20nmにて図3(b)の構成を実現し、電気特性の評価を行った。

【0163】磁性体としてCoFeを、電極体としてはTa(5)/Pt(200)/Ta(50)を用いた。

【0164】本素子においても、磁気抵抗効果が観測された。

【0165】室温下(300K)にて行ったところ、磁気抵抗変化率は最高18%、さらに低温下(5K)においては、磁気抵抗変化率は最高38%であった。

【0166】また、ここではサンプル9の磁性体としてMnAsを用いたが、同種のMnSb、あるいはQDA(QはSc, Y, ランタノイド, Ti, Zr, Hf, Nb, Ta, Znから選ばれた少なくとも1種、AlはC, N, O, F, Sから選ばれた少なくとも1種、Dは、V, Cr, Mn, Fe, Co, Niから選ばれた少なくとも1種)、あるいはGaMnN, AlMnN, GaAlMnN, AlB MnN等のRDA(Rは、B, Al, Ga, Inから選ばれた1種、Dは、V, Cr, Mn, Fe, Co, Niから選ばれた1種、AlはAs, C, N, O, P, Sから選ばれた1種)等に代表されるものを用いても磁気抵抗変化が確認される。

【0167】また、サンプル10のように成膜条件により反強磁性を示すものとしてMnAsを用いたが、これは構造的な歪み・圧力が磁性特性の変化に大きく作用しているものと思われる。よって、歪み・圧力誘起あるいはキャリア注入によって引き起こされる反強磁性を有する物質を、磁化回転抑制層として用いても本発明は実現できることが確認された。

【0168】また、サンプル10において磁性体としてCoFeを用いたが、Fe, Co, Ni, FeCo合金, NiFe合金、Co Ni合金、NiFeCo合金を用いても磁気抵抗変化が観測された。

【0169】また伝導体としては、主としてPtを用いたが、Al, Ag, Cuを用いても磁気抵抗変化が観測された。

【0170】また反強磁性体としては、PtMnを用いたが、PtPdMn, FeMn, IrMn, NiMnを用いても磁気抵抗変化が観測された。

【0171】(実施例8) GaAs(001)方位基板上に多元分子線エピタクシー手法を用いて以下の要領でサンプルを作製した。実施例7にて示すように、サンプル10の構成にて、伝導体として単層炭素チューブを用い、図3(b)の構成した実施例7に示した磁気抵抗素子において、図10の様に伝導体の一部に電界印可用のゲート電極を、絶縁体を介して配置した(本構成は図7(a)の構成に準じる)。本実施例でのd、Dの典型的な値は30nm、250nmである。

【0172】室温下(300K)にて行ったところ、ゲート電界ゼロの状態では磁気抵抗変化率は最高18%、ゲート電界印可により図11のような電界効果を示し、磁気抵抗変化もゲート電圧6Vにてゼロになった。

【0173】また、ここではサンプル7の磁性体としてMnAsを用いたが、同種のMnSb、あるいはQDA(QはSc, Y, ランタノイド, Ti, Zr, Hf, Nb, Ta, Znから選ばれた少なくとも1種、AlはC, N, O, F, Sから選ばれた少なくとも1種、Dは、V, Cr, Mn, Fe, Co, Niから選ばれた少なくとも1種)、あるいはGaMnN, AlMnN, GaAlMnN, AlB MnN等のRDA(Rは、B, Al, Ga, Inから選ばれた1種、Dは、V, Cr, Mn, Fe, Co, Niから選ばれた1種、AlはAs, C, N, O, P, Sから選ばれた1種)等に代表されるものを用いても磁気抵抗変化が確認される。

【0174】また、実施例7に示したように成膜条件により反強磁性を示すものとしてMnAsを用いたが、これは構造的な歪み・圧力が磁性特性の変化に大きく作用しているものと思われる。よって、歪み・圧力誘起あるいはキャリア注入によって引き起こされる反強磁性を有する物質を、磁化回転抑制層として用いても本発明は実現できることが確認された。

【0175】また、サンプル10において磁性体としてCoFeを用いたが、Fe, Co, Ni, FeCo合金, NiFe合金、Co Ni合金、NiFeCo合金を用いても磁気抵抗変化が観測された。

【0176】また伝導体としては、主としてPtを用いたが、Al, Ag, Cuを用いても磁気抵抗変化が観測された。

【0177】また反強磁性体としては、PtMnを用いたが、PtPdMn, FeMn, IrMn, NiMnを用いても磁気抵抗変化が観測された。

【0178】(実施例9) GaAs(001)基板上に対してイオン注入手法を用いることにより、MnイオンのGaAs基板中注入領域を作成した。Mnイオンはスパッタにて発生させた。スパッタで生じたMnイオンをイオン加速部に引き込み、さらに加速電圧100keV程度にて、GaAs基板表面から約50nmまでの深さ領域に注入を施した。注入キャリアはおおよそ $4 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 程度で、 $(\text{Ga}_{1-x}\text{Mn}_x)\text{As}$ として換算したx量として約5.5%程度であると思われる。磁化測定から見積もられるキュリー温度は約100Kであった。

【0179】このような強磁性を形成した基体上に、炭素チューブを真空槽内にて所望の位置に配置し、その後、一方の注入領域上にPtMn(50nm)を堆積・加工して、図4(b)の構成を持つ素子を作成した。

【0180】伝導体である炭素チューブ上に絶縁膜SiO<sub>2</sub>(100nm)を、また電極体としてはTa(5)/Pt(200)/Ta(50)を用いた。

【0181】外部から磁界を印可し、電極体間の電気特性を評価した。

【0182】低温下(5K)にて測定を行ったところ、

磁気抵抗変化率は最高10%であった。

【0183】続いて、作成した本実施例のサンプルを加工して作成した素子の伝導体である炭素チューブ上に保護用の絶縁体膜 $\text{SiO}_2$  (100nm)のかわりに、電界印可用のゲート電極を、絶縁体を介して配置した。用いた絶縁体はフタロシアニン膜 (50nm)、電極体としてTa(5)/Cu(200)/Ta(50)を用いた。

【0184】ゲート電極を用いて、電界印可を-1Vから5Vまで変化させ、その磁気抵抗変化を測定したところ、電界印可がゼロの場合には両磁性層の磁化方向の揃った場合に抵抗が、それ以外に比べて低くなる特性を示している。電界を0から1V印可した場合には磁気抵抗変化は複雑な振る舞いを示し、場合によって、磁化方向の揃った場合に、必ずしも抵抗が低くならなかった。さらに、電界を印可していくと、約5Vで磁気抵抗変化が見られなくなった。これにより、電界印可によって、磁気抵抗特性が制御できる。

【0185】また、ここでは磁性体として(Ga,Mn)Asを用いたが、ZnOあるいはAlNなどのQDA (QはSc, Y, ランタノイド, Ti, Zr, Hf, Nb, Ta, Znから選ばれた少なくとも1種、AlはC, N, O, F, Sから選ばれた少なくとも1種、Dは、V, Cr, Mn, Fe, Co, Niから選ばれた少なくとも1種)、あるいはGaMnN, AlMnN, GaAlMnN, AlBMnN等のRDA (Rは、B, Al, Ga, Inから選ばれた1種、Dは、V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni から選ばれた1種、AlはAs, C, N, O, P, Sから選ばれた1種)等に代表されるものを用いても磁気抵抗変化が確認されている。

【0186】また伝導体としては、主としてCuを用いたが、Al, Ag, Au, Ptを用いても磁気抵抗変化が観測された。

【0187】また反強磁性体としては、PtMnを用いたが、PtPdMn, FeMn, IrMn, NiMnを用いても磁気抵抗変化が観測された。

【0188】(実施例10) アセチレンガスを用いて電気化学的にエッチングして作成した多孔性のSi基板上に、Fe(50)を電子ビーム蒸着にてパターンニングしたい所望の場所に作りこんだ。このFe膜は炭素チューブ配向膜の触媒として働く。主としてメタンガスによる炭素供給を行い、CVD法を用いて作成した炭素チューブは、Fe膜状に長手方向が膜面に対して立つように配向している。また、配向した炭素チューブの先端には、触媒のFeが付着していることが分かった。電子ビーム蒸着およびスパッタによりこの上にCoFe(50)/PtMn(50)/Ta(15)/Au(200)を堆積させ、炭素チューブを用いた積層型素子を作成した。

【0189】外部から磁界を印可し、電極体間の電気特性を評価した。

【0190】加工した素子において、室温で磁気抵抗効果が観測された。

【0191】より顕著に効果を評価するため、低温下

(5K)にて行ったところ、磁気抵抗変化率は最高9%であった。

【0192】また、ここでは磁性体としてFeおよびFeCoを用いたが、Ni, Co、またはNiCoFe合金を用いても、触媒作用があるとともに磁気抵抗変化が確認されている。

【0193】また反強磁性体としては、PtMnを用いたが、PtPdMn, FeMn, IrMn, NiMnを用いても磁気抵抗変化が観測された。

【0194】あるいは反強磁性体の代わりに高保持力磁性体である、CoPt, FePt, CoCrPt, CoTaPt, FeTaPt, FeCrPtを配置しても実質上、磁性電極の一方が高保磁力を有するため、所望の磁気抵抗変化が観測できた。

【0195】(実施例11) CMOS基板上に、図12に示すような基本構成のメモリ素子で集積メモリを作製した。素子配列は、 $16 \times 16$ 素子のメモリを1ブロックとし合計8ブロックとした。ここで、素子には、図13の(b)構成で、

サンプル11

Ta(1)/CoFe(15)/Ta(15)

を用いた。

【0196】サンプルの素子断面積は $0.2\mu\text{m} \times 0.3\mu\text{m}$ で、自由磁性層はNiFe(2)とし、形状は図23(a)としている。

【0197】また、ワード線およびビット線などは全てCuを用いた。

【0198】ワード線とビット線の合成磁界により、8つのブロックの、8素子にそれぞれの自由磁性層の磁化反転を同時に行い、8ビットずつの信号を記録した。次に、CMOSで作製されたFETのゲートをそれぞれのブロックに付き1素子ずつONし、センス電流を流した。このとき、各ブロック内でのビット線、素子、及びFETに発生する電圧と、ダミー電圧をコンパレータにより比較し、それぞれの素子の出力電圧から、同時に8ビットの情報を読みとった。

【0199】この際の自由磁性層の長軸と短軸の比は1.5:1(長軸は $0.2\mu\text{m}$ )とし、形状を図23(a)~(e)に変えた集積メモリを作製した。これらのメモリの記録に要する消費電力は、図23の(b)~(e)の形状では図23(a)の形状の約3/5~1/2程度であった。

【0200】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、2つの磁性体が少なくとも1つの伝導体を介して接しており、2つの磁性体のうち、一方のみがを磁化回転抑制層が接し、且つ前記伝導体を挟む2つの磁性体の磁化相対角の変化により抵抗が変化することを特徴とする磁気抵抗素子を構成することにより、前記磁化回転抑制層に接していない磁性体を自由磁性体として情報を記録し読み出す磁気メモリや、磁気抵抗効果部の抵抗変化を利用した様々な磁気デバイスとして利用することができる。このため、従来の情報通信端末などに使用される光磁気



ディスク、ハードディスク、デジタルデータストリーマ(DDS)、デジタルVTR等の磁気記録装置の再生ヘッド、またシリンダーや、自動車などの回転速度検出用の磁気センサー、磁気メモリ(MRAM)、応力変化、加速度変化などを検知する応力または加速度センサーあるいは熱センサーや化学反応センサー等の特性を向上させることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の磁気抵抗素子の構成図

【図2】本発明の磁気抵抗素子の動作説明図

【図3】本発明の磁気抵抗素子の構成図

【図4】本発明の磁気抵抗素子の構成図

【図5】本発明の磁気抵抗三端子素子の構成図

【図6】本発明の磁気抵抗三端子素子の動作説明図

【図7】本発明の磁気抵抗三端子素子の構成図

【図8】本発明の磁気抵抗素子の構成図

【図9】本発明の磁気抵抗素子の作成工程概略図

【図10】本発明の磁気抵抗素子の上面配置図

【図11】本発明の磁気抵抗素子の電流電圧特性図

【図12】本発明の磁気メモリの構成概略図

【図13】本発明の磁気メモリの磁気抵抗素子を含む構成概略図

【図14】本発明の磁気メモリの磁気抵抗素子を含む構成概略図

【図15】本発明の磁気メモリの磁気抵抗素子を含む動作説明図

【図16】本発明の磁気メモリの磁気抵抗素子を含む動作説明図

【図17】本発明の磁気メモリの磁気抵抗素子を含む構成概略図

【図18】本発明の磁気メモリの構成概略図

【図19】本発明の磁気メモリの出力検出動作説明図

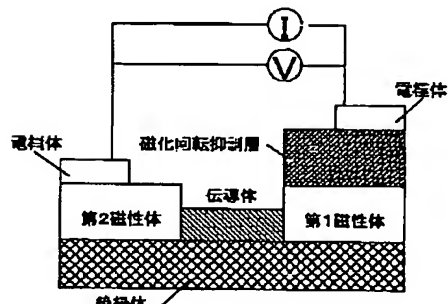
【図20】本発明の磁気メモリの構成概略図

【図21】本発明の磁気抵抗素子の動作説明図

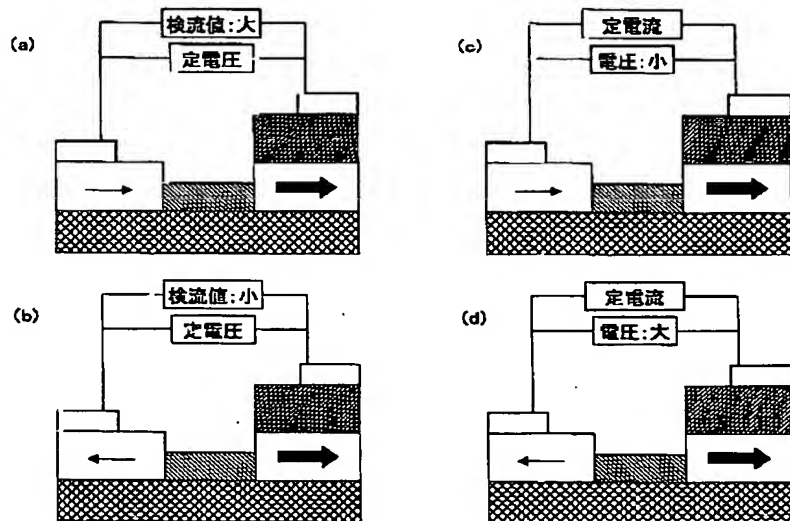
【図22】本発明の磁気抵抗素子のMR特性を示す図

【図23】本発明の磁気抵抗素子の自由磁性層の面内形状図

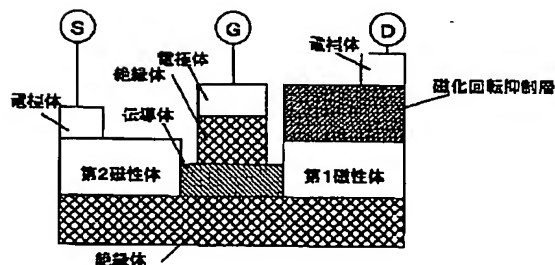
【図1】



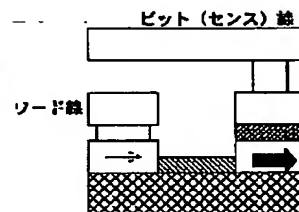
【図2】



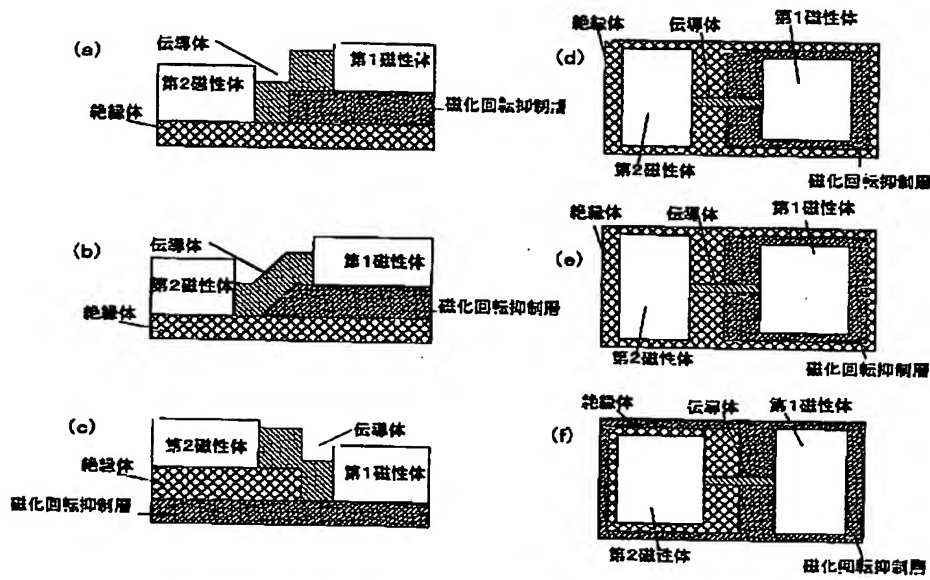
【図5】



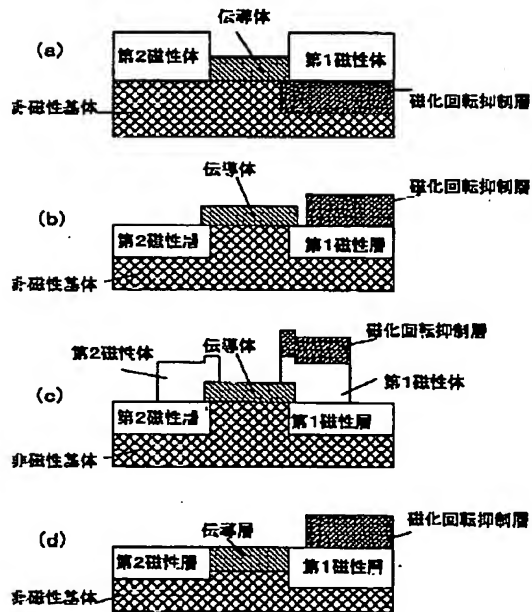
【図14】



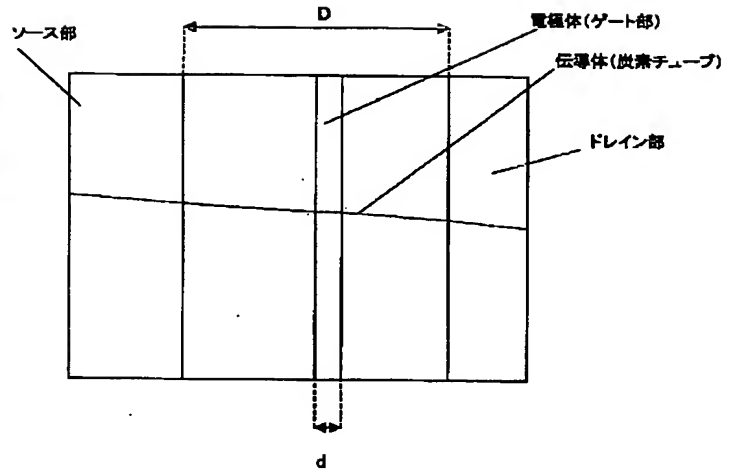
【図3】



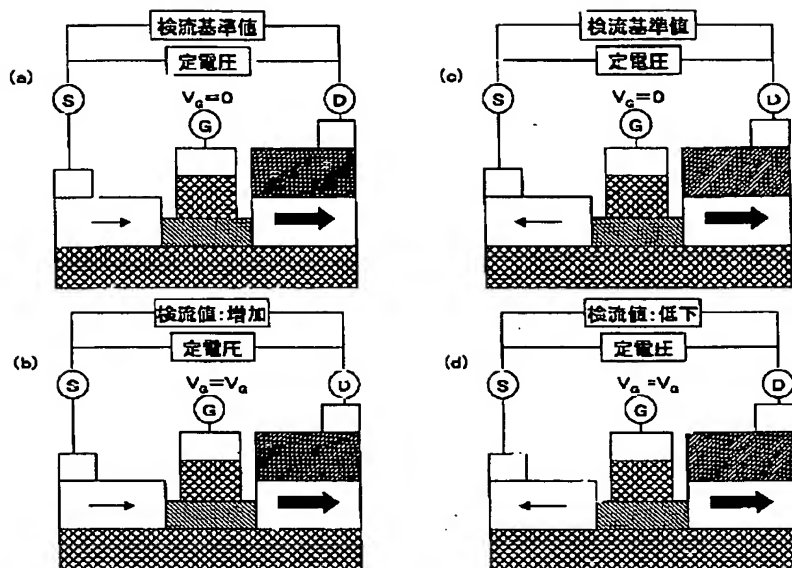
【図4】



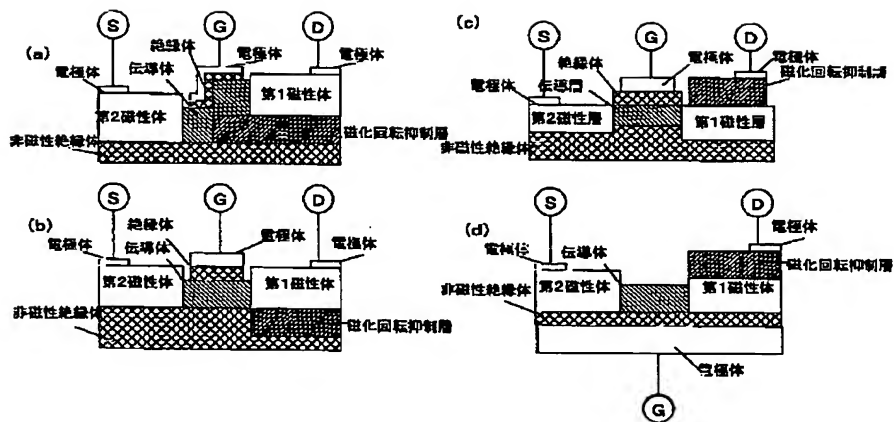
【図10】



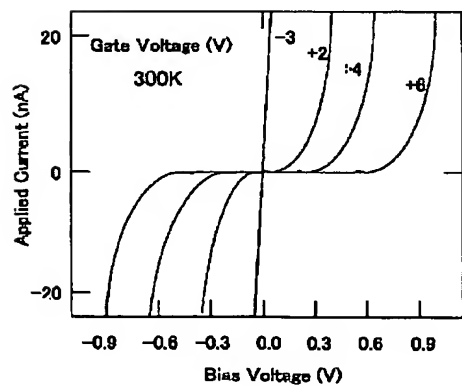
【図6】



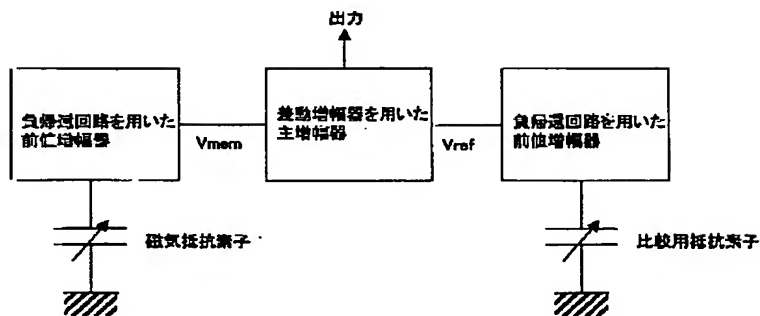
【図7】



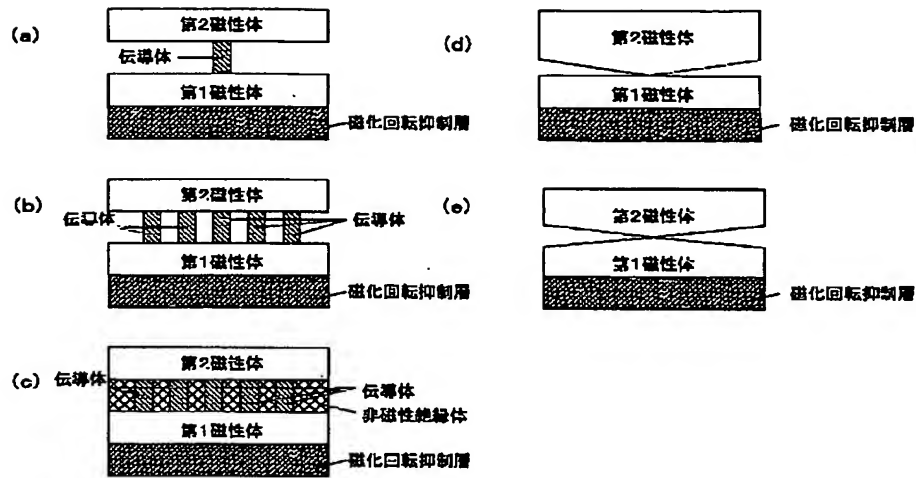
【図11】



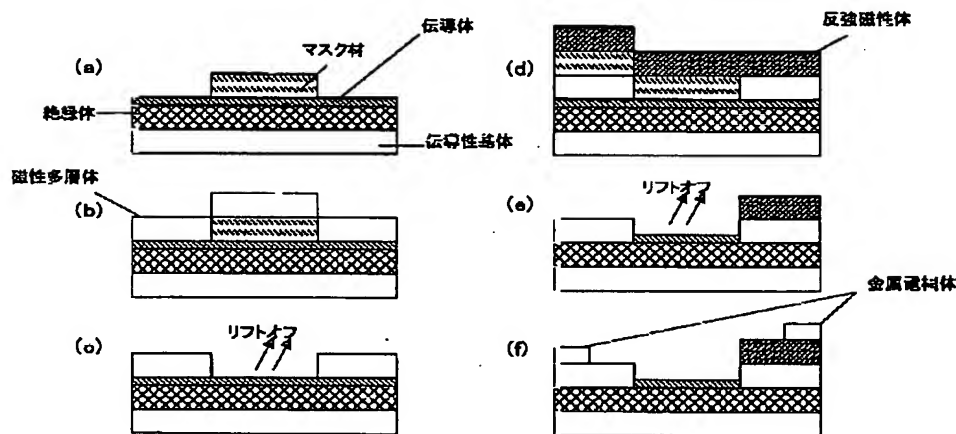
【図19】



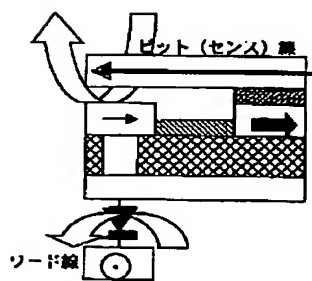
【図8】



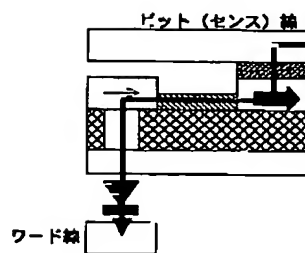
【図9】



【図16】

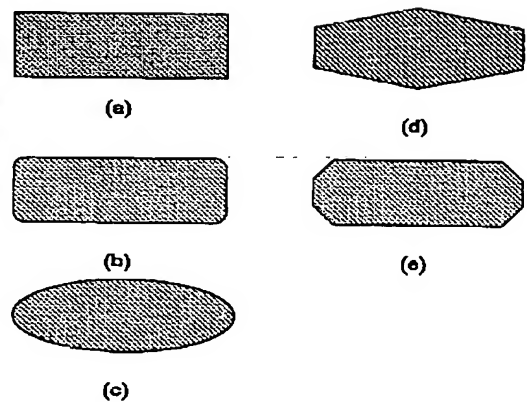


(a) 書き込み時

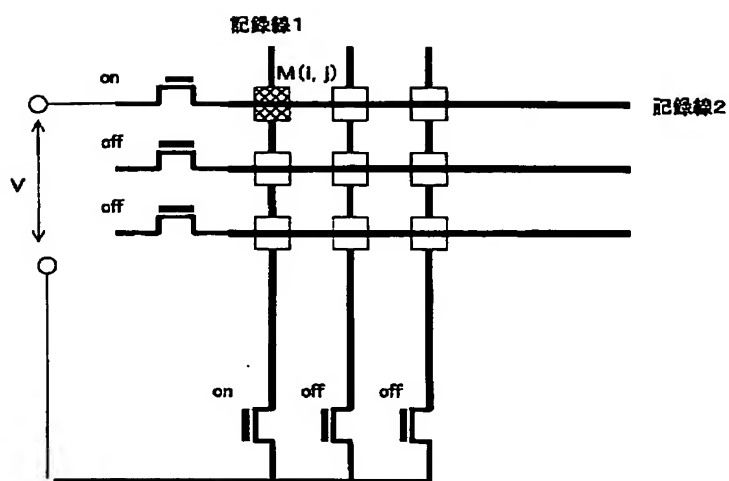


(b) 読み込み時

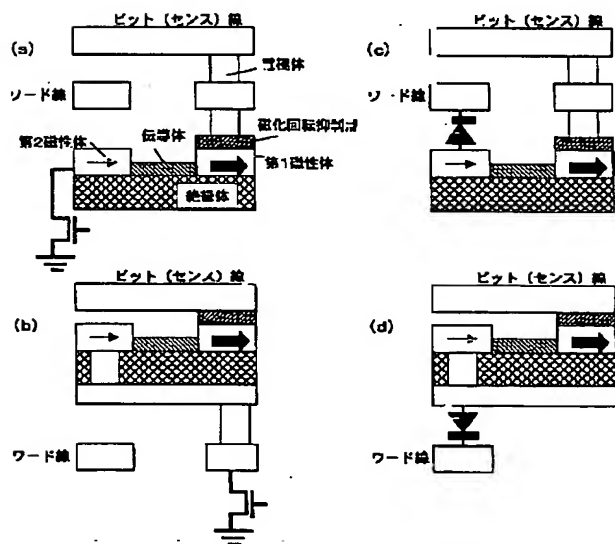
【図23】



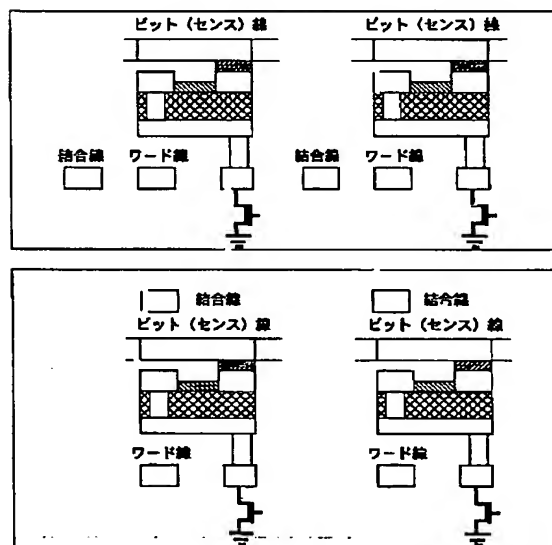
【図12】



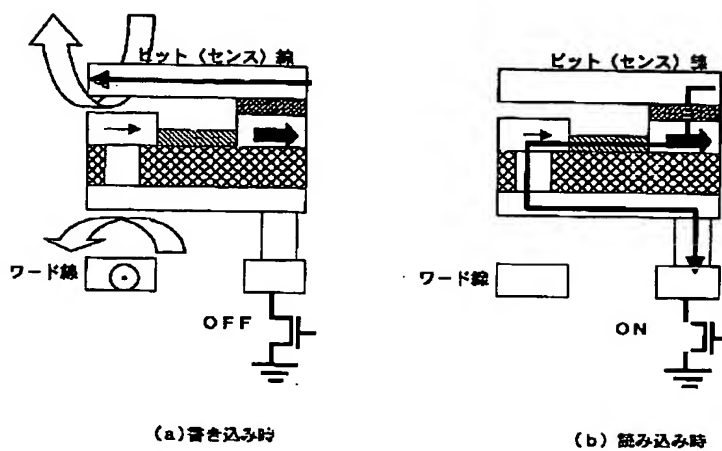
【図13】



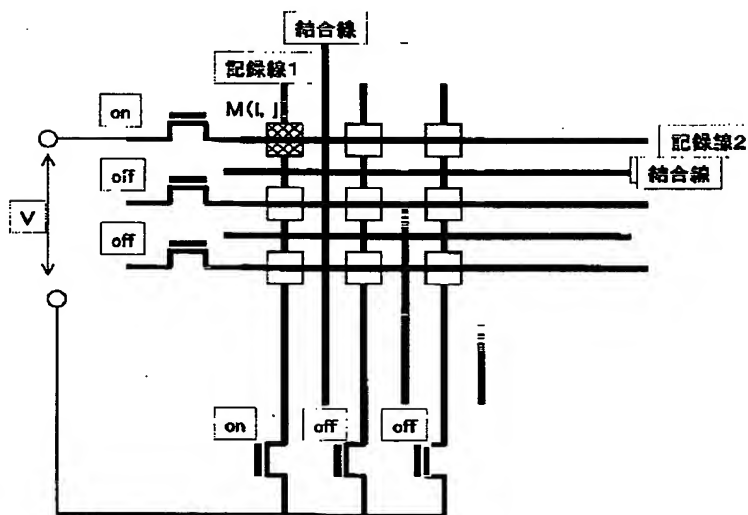
【図17】



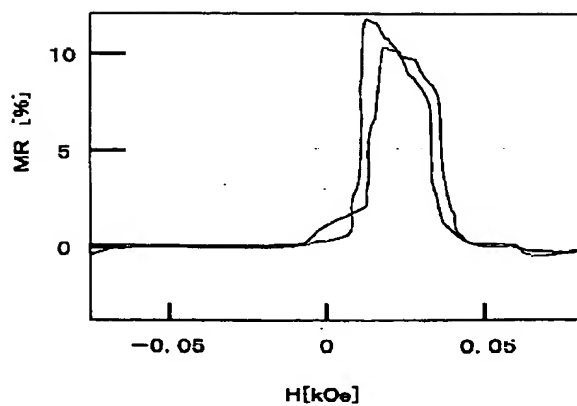
【図15】



【図18】

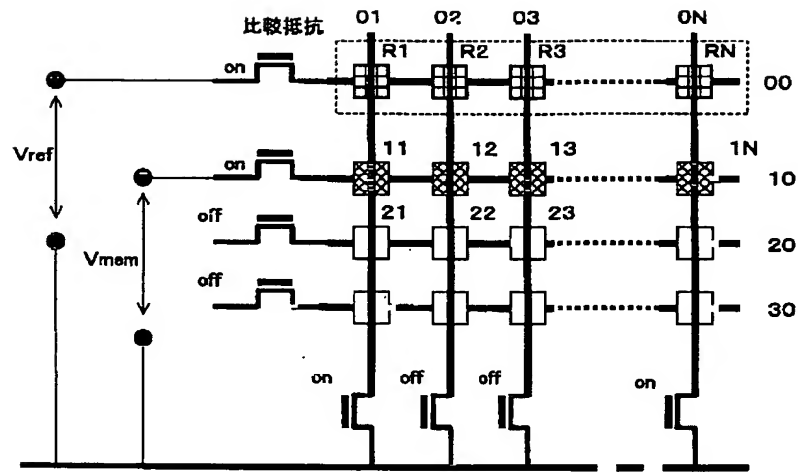


【図22】

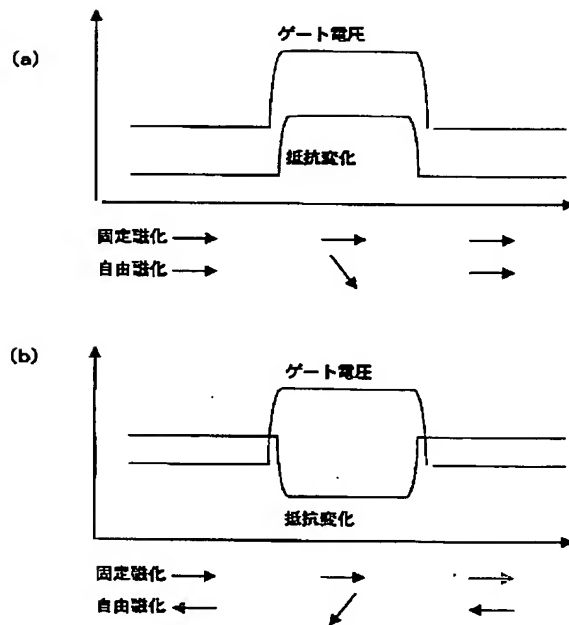




【図20】



【図21】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.<sup>7</sup>

H01F 10/32

H01L 27/105

識別記号

FI

H01L 27/10

G01R 33/06

(参考)

447

R

(72)発明者 杉田 康成

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
産業株式会社内

Fターム(参考) 2G017 AD55 AD56 AD62 AD63 AD65  
5D034 BA03 BA04 BA05 BA15 BB14  
CA08  
5E049 AA04 AC00 AC05 BA23  
5F083 FZ10 GA09 GA30 JA36 JA37  
JA38 JA39 JA40 JA56 JA58  
JA60 PR03 PR22 PR40



# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2003-008105

(43)Date of publication of application : 10.01.2003

(51)Int.Cl.

H01L 43/08  
G01R 33/09  
G11B 5/39  
G11C 11/14  
H01F 10/16  
H01F 10/32  
H01L 27/105

(21)Application number : 2001-190984

(71)Applicant : MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD

(22)Date of filing : 25.06.2001

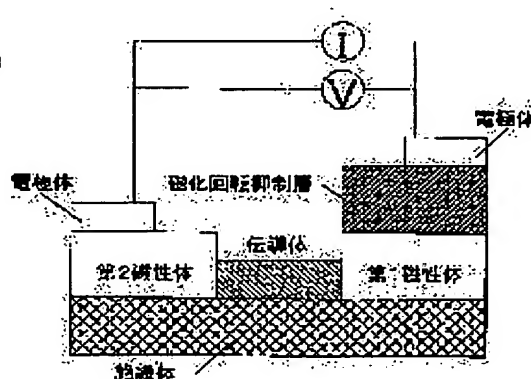
(72)Inventor : ODAKAWA AKIHIRO  
MATSUKAWA NOZOMI  
SUGITA YASUNARI

## (54) MAGNETORESISTIVE ELEMENT AND MAGNETIC MEMORY

### (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a field-effect magnetoresistive element and a preferable example of device constitution.

**SOLUTION:** This magnetoresistive element is composed of a first magnetic body with which the element is constituted by attaching a magnetic spin suppressing layer to the body, and a second magnetic body which is not in contact with a magnetic spin layer. Conductivity control is performed by connecting the first and second magnetic bodies to each other through a conductor which mainly rules ballistic conduction, and by impressing an electric field upon the conductor or urging the conductor to induce carries. The second magnetic body which is not in contact with the magnetic spin layer is utilized for a magnetic memory, reconfigurable circuit, etc., as a free magnetic body.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

**\* NOTICES \***

**JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.**

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

---

**CLAIMS**

---

[Claim(s)]

[Claim 1] The magnetic resistance element characterized by resistance changing with change of the magnetization angular relation of the two magnetic substance which the 1st magnetic substance with which the magnetization revolution control layer touched between at least two magnetic substance, and the 2nd magnetic substance which is not in contact with said magnetization revolution control layer have touched through at least one conductor, and sandwiches said conductor.

[Claim 2] The magnetic resistance element carry out as the description carry out that resistance changes by change of the magnetization angular relation of the two magnetic substance with which the 2nd magnetic substance which is arranged as sandwiches the 1st magnetic substance with which the magnetization revolution control layer touched between at least two magnetic substance, said magnetization revolution control layer, and an insulator, and is not in contact with said magnetization revolution control layer has touched through at least one conductor, and sandwiches said conductor as the description.

[Claim 3] The magnetic resistance element characterized by the electric resistance between the two magnetic substance into which the 1st magnetic substance with which the magnetization revolution control layer touched between at least two magnetic substance, and the 2nd magnetic substance which is not in contact with said magnetization revolution control layer are in contact with through at least one conductor, and at least one of said conductors inserts said conductor by impregnation or induction of an electron or a hole changing.

[Claim 4] The magnetic resistance element according to claim 1 to 3 characterized by said magnetization revolution control layer consisting of at least one chosen from the antiferromagnetic substance, the laminating ferrimagnetic substance, or the high holding power magnetic substance.

[Claim 5] The magnetic resistance element according to claim 1 to 4 to which said conductor is characterized by being Si thin line.

[Claim 6] The magnetic resistance element characterized by resistance changing with change of the magnetization angular relation of the two magnetic substance which the 1st magnetic substance with which the magnetization revolution control layer touched between at least two magnetic substance, and the 2nd magnetic substance which is not in contact with said magnetization revolution control layer constitute the layered product through at least one conductor, and sandwiches said conductor.

[Claim 7] The magnetic resistance element according to claim 1 to 6 to which said conductor is characterized by being a carbon tube.

[Claim 8] It is the magnetic memory characterized by being the magnetic memory equipped with a magnetic resistance element according to claim 1 to 7, and two or more means of the field seal of approval to said 2nd magnetic substance and means to read the magnetization direction of said 2nd magnetic substance, respectively, arranging said magnetic memory on the solid state switch component accumulated on the semi-conductor substrate, and connecting it at least at the time of the readout of said magnetic memory, or writing.

---

[Translation done.]

**\* NOTICES \***

**JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.**

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

---

**DETAILED DESCRIPTION**

---

**[Detailed Description of the Invention]****[0001]**

**[Field of the Invention]** The magneto-optic disk, hard disk with which this invention is used for an information communication terminal etc., The reproducing head of magnetic recording media, such as a digital data streamer (DDS) and digital VTR, The magnetic-reluctance sensor represented by the stress, acceleration sensor or heat which detects the angular-velocity magnetic sensor for rotational-speed detection, stress change, acceleration change, etc., the heat sensor using change of the magneto-resistive effect by the chemical reaction, and the chemical reaction sensor, They are the magnetic solid-state memory represented in magnetic random access memory (MRAM), recon figure skating bull memory, etc. or a current switch (magnetic switch) component by the MAG, and the thing with which an electrical-potential-difference switching device etc. is related further.

**[0002]**

**[Description of the Prior Art]** The memory using magnetism can realize memory [ \*\*\*\* / un-], because stores as memory the information on the spin which the magnetic substance has, and it is considered to be one [ excellent in implementation of future power saving and high-speed information terminal ] of the devices. The artificial grid film which consists of the magnetic film which carried out switched connection through the nonmagnetic membrane until now It is discovered that giant magneto-resistance (GMR) is shown (M.N.Baibich et.al., Phys.Rev.Lett.61 (1988) 2472.). The proposal of MRAM using the GMR film was also made (K.T.M.Ranmuthu et.al., IEEE Trans.on Magn.29 (1993) 2593.). the non-magnetic layer of the aforementioned GMR film -- conductors, such as Cu, -- although it is the film, research of the tunnel mold GMR film (TMR) which used the insulator layer of aluminum2O3 grade for the non-magnetic layer also prospers, and MRAM using this TMR film is also proposed. An output with bigger MRAM using the TMR film than the thing of the GMR film and implementation of high density memory are expected. In connection with it, it waits for establishment of the architecture in dozens of nanometer size from several nano which the possibility of an alternative of high density memory, such as DRAM, was also beginning to be examined, and aimed at future super-high density memory. When it becomes a size field so that quantum effect may appear in conduction strongly like dozens of nanometer size from several nano, the component architecture which draws a line is needed with the former. It is hoped that the memory using magnetism may be able to propose the new component and the new circuit of transmitting spin information directly or controlling transmission spin directly since the information on the spin which is a quantum is stored as memory.

**[0003]**

**[Problem(s) to be Solved by the Invention]** In order to transmit the information on spin directly until now, allotting the ultra-thin tunnel barrier between the magnetic substance like the conventional TMR component, and using polarization spin tunneling can only be realized. Now, a new circuit which controls transmission spin directly cannot be formed.

**[0004]** this invention -- this technical problem -- receiving -- the transmission route of spin -- long -- carrying out -- a transmission route -- ballistic one -- it aims at offering the magnetic resistance element realized by offering the desirable ingredient and arrangement, and its example of a device configuration using the conductor which enables \*\*\*\* conduction.

**[0005]**

**[Means for Solving the Problem]** In order to solve said technical problem, this invention The inside of at least



two magnetic substance, The 1st magnetic substance with which the magnetization revolution control layer touched, and the 2nd magnetic substance which is not in contact with said magnetization revolution control layer have touched through at least one conductor. And it is the magnetic resistance element characterized by resistance changing with change of the magnetization angular relation of the two magnetic substance which sandwiches said conductor. It can use as various magnetic devices, such as magnetic memory which records and reads information, and a recon figure skating bull circuit using resistance change of the magneto-resistive effect section, by using as the free magnetic substance the magnetic substance which is not in contact with said magnetization revolution control layer.

[0006] Moreover, as this invention sandwiches the 1st magnetic substance with which the magnetization revolution control layer touched between at least two magnetic substance, said magnetization revolution control layer, and an insulator, it is allotted. And the 2nd magnetic substance which is not in contact with said magnetization revolution control layer has touched through at least one conductor. And it is the magnetic resistance element by which it is characterized [ which is characterized by resistance changing with change of the magnetization angular relation of the two magnetic substance which sandwiches said conductor ]. It can use as various magnetic devices, such as magnetic memory which records and reads information, and a recon figure skating bull circuit using resistance change of the magneto-resistive effect section, by using as the free magnetic substance the magnetic substance which is not in contact with said magnetization revolution control layer.

[0007] Moreover, the 2nd magnetic substance with which this invention is not in contact with the 1st magnetic substance with which the magnetization revolution control layer touched between at least two magnetic substance, and said magnetization revolution control layer has touched through at least one conductor. It is the magnetic resistance element characterized by the electric resistance between the two magnetic substance into which at least one of said conductors inserts said conductor by impregnation or induction of an electron or a hole changing. It can use as various magnetic devices, such as magnetic memory which records and reads information, and a recon figure skating bull circuit using resistance change of the magneto-resistive effect section, by using as the free magnetic substance the magnetic substance which is not in contact with said magnetization revolution control layer.

[0008] It is desirable that a magnetization revolution control layer consists of at least one chosen from the antiferromagnetic substance, the laminating ferrimagnetic substance, or the high holding power magnetic substance about this invention.

[0009] Moreover, it is desirable to use a carbon tube as a conductor in one operation gestalt.

[0010] Moreover, it is desirable to use Si thin line as a conductor in one operation gestalt.

[0011] Moreover, as for this invention, the 1st magnetic substance with which the magnetization revolution control layer touched between at least two magnetic substance, and the 2nd magnetic substance which is not in contact with said magnetization revolution control layer constitute the layered product through at least one conductor. And it is the magnetic resistance element characterized by resistance changing with change of the magnetization angular relation of the two magnetic substance which sandwiches said conductor. It can use as various magnetic devices, such as magnetic memory which records and reads information, and a recon figure skating bull circuit using resistance change of the magneto-resistive effect section, by using as the free magnetic substance the magnetic substance which is not in contact with said magnetization revolution control layer.

[0012] It is desirable to use a carbon tube as a conductor in one operation gestalt also here.

[0013] Furthermore, this invention operates as magnetic memory equipped with two or more magnetic resistance elements, means of the field seal of approval to said 2nd magnetic substance, and means to read the magnetization direction of said 2nd magnetic substance, respectively, and is arranged on the solid-state-switch component accumulated on the semi-conductor substrate, and magnetic memory which is connected to the solid state switch component section at least at the time of the readout of the magnetic memory using the magnetic resistance element of this invention or writing, and operates can be realized.

[0014]

[Embodiment of the Invention] The magnetic resistance element of this invention is explained using drawing.

[0015] First, drawing 1 consists of a magnetization revolution control layer, the 1st magnetic layer, the 2nd magnetic layer, and a conduction layer. A conduction layer here is prepared as a conduction layer which can mainly conduct, without a spin polarization electron seldom receiving dispersion in a ballistic target. The 2nd magnetic layer with which the 1st magnetic layer which touched the magnetization revolution control layer is

not in contact as the fixed bed constitutes the magnetic resistance element as a free layer. In case resistance of a component is detected, it carries out to the 1st magnetic layer and the 2nd magnetic layer by arranging an electrode object. When a magnetization revolution control layer is also a conductor like drawing 1, an electrode object may be arranged on a magnetization revolution control layer.

[0016] The 1st magnetic layer is touching a magnetization revolution control layer, and it is desirable to join together magnetically and to make a magnetization revolution difficult. As for the magnetization mechanism control layer in this case, it is desirable that it is the multilayer of the high holding power magnetic substance, the laminating ferrimagnetic substance, the antiferromagnetic substance or the laminating ferrimagnetic substance, and the antiferromagnetic substance.

[0017] As the high holding power magnetic substance of said configuration, the ingredient whose holding power, such as CoPt, FePt, CoCrPt, CoTaPt, FeTaPt, and FeCrPt, is 100 or more Oes is desirable.

[0018] Moreover, as the antiferromagnetic substance, PtMn, PtPdMn, FeMn, IrMn, NiMn, etc. are desirable.

[0019] Moreover, it is desirable to use Cu, Ag, Au, Ru, Rh, Ir, Re, Os or the alloy of these metals, and an oxide as a non-magnetic material as the magnetic substance which has the multilayer structure of the magnetic substance and non-magnetic material, and is used as the laminating ferrimagnetic substance here, using FeCo containing Co or Co, CoFeNi, CoNi, CoZrTa, CoZrB, a CoZrNb alloy, etc.

[0020] On the other hand, the 2nd magnetic layer realizes an easy magnetization revolution compared with the 1st magnetic layer, and uses it as a free magnetic layer.

[0021] the two magnetic substance which carried out spin polarization -- ballistic one -- when a bias seal of approval is carried out through the conductor in which \*\*\*\* conduction is possible, change of the magnetization angular relation between the two magnetic substance can be detected as the resistance change. This is considered to be the phenomenon in which conduct spin dispersion, without seldom winning popularity, are the connected magnetic-substance interface, and the spin polarization electron transmitted in the inside of a ballistic conductor happens since it is reflected depending on the direction of spin polarization.

[0022] In this case, by [ which carry out a free magnetic layer ] touching in a magnetization revolution control layer like this invention, considering as a fixed magnetic layer and having not touched another side in a magnetization revolution control layer, magnetization angular relation is made clear, as a result, high power is obtained, and things are made.

[0023] Drawing 2 shows typically the situation of actuation of the magnetic resistance element of the bases shown by drawing 1.

[0024] Like drawing 2 (a) and drawing 2 (b), the current value which flows for a component when that is not right falls under a constant-voltage bias seal of approval compared with the case where each magnetization direction of the two magnetic substance is parallel.

[0025] Moreover, under a constant current bias seal of approval, the electrical potential difference which flows for a component when that is not right increases like drawing 2 (c) and drawing 2 (d) compared with the case where each magnetization direction of the two magnetic substance is parallel.

[0026] Here as an ingredient used for the 1st magnetic layer or the 2nd magnetic layer Fe, Co, nickel, a FeCo alloy, a NiFe alloy, a CoNi alloy, a NiFeCo alloy, or FeN, FeTiN, FeAlN, FeSiN, FeTa<sub>2</sub>N, FeCoN, FeCoTiN, FeCo(aluminum, Si) N, and FeCoTa<sub>2</sub>N etc. -- a nitride -- TMA represented by an oxide, carbide, boride, and the fluoride magnetic substance (T) At least one sort chosen from Fe, Co, and nickel and M At least one sort chosen from Mg, calcium, Ti, Zr, Hf, V, Nb, Ta, Cr, aluminum, Si, Mg, germanium, and Ga and A At least one sort chosen from N, B, O, F, and C, or (Co, Fe) M (at least one sort as which M was chosen from Ti, Zr, Hf, V, Nb, Ta, Cu, and B), Or FeCr, FeSiAl, FeSi, and FeAl, FeCoSi, FeCoAl, and FeCoSiAl, tangent line (T was chosen from Fe, Co, and nickel -- at least one sort) represented by FeCoTi, Fe(nickel) (Co) Pt, Fe (nickel), and (Co) Pd, Fe(nickel) (Co) Rh, Fe(nickel) (Co) Ir, Fe (nickel), and (Co) Ru, FePt, etc. L Cu, Ag, Au, Pd, and Pt, Rh, Ir, Ru, Os, and Ru, Si, germanium, aluminum, Ga, Cr, and Mo, at least one sort chosen from W, V, Nb, Ta, Ti, Zr, Hf, La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, and Lu etc. -- a ferromagnetic -- moreover -- or Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> or XMnSb (at least one as which X was chosen from nickel, Cu, and Pt), LaSrMnO, LaCaSrMnO, the half metal ingredient represented by CrO<sub>2</sub>, or QDA (Q was chosen from Sc, Y, a lanthanoids, Ti, Zr, Hf, Nb, Ta, and Zn -- at least one sort) At least one sort and D as which A was chosen from C, N, O, F, and S RDA, such as at least one sort chosen from V, Cr, Mn, Fe, Co, and nickel or GaMnN, AlMnN, GaAlMnN, and AlBMnN (R) One sort and D which were chosen from B, aluminum, Ga, and In V, Cr, Mn, Fe, Co, and nickel from -- one

selected sort and A have spinel mold oxides, such as a magnetic semiconductor represented by one etc. sort chosen from As, C, N, O, P, and S or a perovskite mold oxide, and a ferrite, and a desirable garnet mold oxide. [0027] Moreover, although any are sufficient as long as an insulator is insulating material, Mg, Ti, Zr, Hf, V, Nb, Ta, and Cr are included especially. IIa-VIa, La and Ce are included. A lanthanoids, Zn, B, aluminum, Ga, and Si are included. The element chosen from IIb-IVb and the thing which was chosen from F, O, C, N, and B and which are a compound with an element or polyimide, and a phthalocyanine system organic molecule ingredient at least are desirable.

[0028] Moreover, in order to use as a small ballistic conduction object of spin dispersion as a conductor, as for both the width of face of a conductor, and thickness, it is desirable that it is 100nm or less. As for especially the width of face and thickness of a conductor, for actuation near the room temperature, it is more desirable that it is 50nm or less. It is desirable to use a carbon tube as a conductor which has such a property. Although a carbon tube exists variously from a monolayer to a multilayer thing, any may be used for it here. Moreover, it is desirable to use Si thin line in which width of face of several nanometers to dozens of nanometers carried out the high concentration carrier dope. Moreover, the channel part formed in the MOS (Metal-Oxide-Semiconductor) mold FET (field-effect transistor) structure or MES (Metal-Semiconductor) mold FET structure created using the semi-conductor base may be constituted as a conductor. As for the source section and the drain section, in that case, it is desirable to consist of the magnetic substance, and, as for the magnetic substance, it is still more desirable that it is a magnetic semiconductor. Moreover, as for the die length of a conductor, it is desirable that it is [ 1nm or more ] 1000nm or less.

[0029] Moreover, as long as the start and resistivity are the ingredients of 100 or less microomegacm about a nonmagnetic conductivity ingredient, and Cu, aluminum, Ag, Au, Pt and TiN as a desirable ingredient, any are sufficient as an electrode object. To especially a carbon tube, Au or Cr/Au is desirable.

[0030] Moreover, as a gestalt of one operation, like drawing 3 (a), it is arranged and constituted so that a part of magnetization revolution control layer is arranged on an insulating base, and a conductor may cross the 1st magnetic substance on it and it may cross a level difference configuration for between the 2nd magnetic substance and the two magnetic substance on an insulating base. a conduction layer here -- ballistic one -- it prepares as a conductor which performs \*\*\*\* conduction, and a magnetic resistance element is constituted. The 2nd magnetic substance with which the 1st magnetic substance which touched the magnetization revolution control layer has not touched as the fixed bed constitutes the magnetic resistance element as a free layer.

[0031] Under the present circumstances, it is desirable that the edge of the magnetization revolution control layer arranged on an insulating base is formed with dip like drawing 3 (b). Thus, it is desirable when it has arranged, and the thickness of a conductor can control by the include angle. Especially, 70 degrees is suitable from 25 degrees in the include angle preferably. When it was this range, the rendering student was the best and the magnetic resistance element has been created. When using a carbon tube and it is in this range, bending [ edge / of a carbon tube ] has the desirable effect which that conduction property has few. In this case, you may be a slant-face configuration with the curved surface in this desirable include-angle range.

[0032] Moreover, a part of insulator is arranged on a magnetization revolution control layer, in between the 1st magnetic substance and the two magnetic substance, it is arranged and drawing 3 (c) is constituted so that a conductor may cross a level difference configuration, so that the 2nd magnetic substance and a magnetization revolution control layer may be directly touched on it. a conductor here -- ballistic one -- it prepares as a conductor which performs \*\*\*\* conduction. The 2nd magnetic substance with which the 1st magnetic substance which touched the magnetization revolution control layer has not touched as the fixed bed constitutes the magnetic resistance element as a free layer, and is desirable.

[0033] When a conductor touches a magnetization revolution control layer directly, as for a field revolution control layer, it is desirable that they are a semi-conductor or an insulator.

[0034] Here, as for drawing 3 (d), in drawing 3 (e) of drawing 3 (a), drawing 3 (f) of drawing 3 (b) shows the appearance of the top-face plot plan of drawing 3 (c), respectively.

[0035] A magnetization revolution control layer is formed into a nonmagnetic base in a part, and a conductor is arranged on it at the 1st magnetic substance, it is arranged between the 2nd magnetic substance and the two magnetic substance right above [ insulating base ], and drawing 4 (a) is constituted. a conductor here -- ballistic one -- it prepares as a conductor which performs \*\*\*\* conduction. The 2nd magnetic substance with which the 1st magnetic substance which touched the magnetization revolution control layer has not touched as the fixed

bed constitutes the magnetic resistance element as a free layer.

[0036] A magnetic layer is formed into a nonmagnetic base in at least two or more parts, a conductor is arranged between two magnetic layers among those, a magnetization revolution control layer is arranged and drawing 4 (b) is constituted by the part on the 1st magnetic layer. a conductor here -- ballistic one -- it prepares as a conductor which performs \*\*\*\* conduction. The 2nd magnetic layer with which the 1st magnetic layer which touched the magnetization revolution control layer is not in contact as the fixed bed constitutes the magnetic resistance element as a free layer.

[0037] Under the present circumstances, the direction which the laminating of the magnetic substance is further carried out [ direction ] like drawing 4 (c) so that a conductor may be put by the upper and lower sides on the 1st magnetic layer, and contacts a magnetization revolution control layer on it is still more desirable although the 1st magnetic substance is used as the fixed bed. Moreover, as for the magnetic substance arranged on the 1st magnetic substance and the 2nd magnetic substance, it is desirable that it is the metal magnetic substance, and this arrangement is desirable [ the magnetic substance ] in electric contact being easy to be acquired.

[0038] Moreover, like drawing 4 (d), a magnetic layer is formed into a nonmagnetic base in at least two or more parts, a conduction layer is formed between two magnetic layers among those, and the magnetization revolution control layer is arranged and constituted by the part on the 1st magnetic layer. a conductor here -- ballistic one - - it prepares as a conduction layer which performs \*\*\*\* conduction. The 2nd magnetic layer with which the 1st magnetic layer which touched the magnetization revolution control layer is not in contact as the fixed bed constitutes the magnetic resistance element as a free layer.

[0039] As for the magnetization revolution control layer formed into the nonmagnetic base shown by drawing 4 (a), it is desirable to be formed in the magnetic semiconductor which has ferromagnetism or antiferromagnetism. Under the present circumstances, as for this magnetic semiconductor, what has a substrate and at least one element of the same kind, and has the crystal structure of the same kind is desirable.

[0040] It is desirable that conduction between the 1st magnetic layer and the 2nd magnetic layer is performed mainly through a conductor in the magnetic resistance element shown by drawing 4 (a), drawing 4 (b), drawing 4 (c), and drawing 4 R> 4 (d), and, as for the semantics to a nonmagnetic base, it is desirable that they are an insulating substrate or a semi-conductor substrate.

[0041] As for the 1st magnetic layer and the 2nd magnetic layer which are formed into the nonmagnetic base shown by drawing 4 (b), drawing 4 (c), and drawing 4 (d), being formed in the magnetic semiconductor which has ferromagnetism is desirable. Under the present circumstances, as for this magnetic semiconductor, what has a substrate and at least one element of the same kind, and has the crystal structure of the same kind is desirable.

[0042] When a conductor touches a magnetization revolution control layer directly also here, as for a field revolution control layer, it is desirable that they are a semi-conductor or an insulator.

[0043] Drawing 5 shows the magnetic resistance element constituted as a 3 terminal component.

[0044] The electrode object is arranged through the insulator on the conductor for the gate electric-field seal of approval. Here, the drain section and 2nd magnetic-substance side is shown for the 1st magnetic-substance side as the source section for convenience.

[0045] Although any are sufficient as long as it is insulating material as an insulator arranged between the gate electrode and the conductor Mg, Ti, Zr, Hf, V, Nb, Ta, and Cr are included especially. The lanthanoids and Zn containing IIa-VIa, La, and Ce, B, aluminum, Ga, and Si are included. The element chosen from IIb-IVb, It is desirable that is a compound with an element at least for having been chosen out of F, O, C, N, and B. Moreover, you may be a phthalocyanine system organic molecule ingredient.

[0046] Drawing 6 shows typically the situation of actuation of the magnetic resistance element of 3 terminal structures of the bases shown by drawing 5.

[0047] When the magnetization directions of the 1st magnetic layer and the 2nd magnetic layer are parallel and the seal of approval of the gate voltage is not carried out like drawing 6 (a), as for a spin polarization electron, a current tends to flow a conductor between the magnetic substance in electrical-potential-difference bias fixed between propagation and the magnetic substance in the bottom which carried out the seal of approval. On the other hand, like drawing 6 (b), when the seal of approval of the gate voltage is carried out, induction of the carrier is carried out to a conductor, and the amount of currents between the magnetic substance detected falls by urging spin dispersion. Under the present circumstances, the resistance of a component to gate voltage changes like drawing 21 (a).

[0048] Moreover, like drawing 6 (c), when the magnetization directions of the 1st magnetic layer and the 2nd magnetic layer are anti-parallel, it sets. When not carrying out the seal of approval of the gate voltage, a spin polarization electron cannot be easily transmitted in a conductor. Under a fixed electrical-potential-difference bias seal of approval While a current cannot flow easily between the magnetic substance, when the seal of approval of the gate voltage is carried out like drawing 6 (d), induction of the carrier is carried out to a conductor, and the amount of currents between the increase of an electron which carried out spin reversal effectually, and the magnetic substance detected increases by urging spin dispersion. Under the present circumstances, the resistance of a component to gate voltage changes, as shown in drawing 2121 (b).

[0049] As shown in drawing 7 R> 7 (a), the electrode object for electric-field seals of approval can allot and constitute the magnetic resistance element of such 3 terminal structures through an insulator on the conductor of drawing 3 (a). Here, although shown using drawing 3 (a), even if it uses drawing 3 (b) and drawing 3 (c), a 3 terminal component can be constituted.

[0050] Moreover, the electrode object for electric-field seals of approval can allot and constitute through an insulator like drawing 7 (b) on the conductor of drawing 4 (a). Here, although shown using drawing 4 (a), even if it uses drawing 4 (b) and drawing 4 (c), a 3 terminal component can be constituted.

[0051] Moreover, the electrode object for electric-field seals of approval can allot and constitute through an insulator like drawing 7 (c) on the conductor of drawing 4 (d). Here, the channel part formed in MES structure which minded metal-oxide-semiconductor structure or the shot key barrier functions as a conductor. As for the source section and the drain section, in that case, it is desirable to consist of the magnetic substance, and, as for the magnetic substance, it is still more desirable that it is a magnetic semiconductor.

[0052] Furthermore, it is desirable even if it allots not only arrangement of drawing 5 but the gate polar zone like drawing 7 (d).

[0053] here -- a magnetic semiconductor -- QDA (Q was chosen from Sc, Y, a lanthanoids, Ti, Zr, Hf, Nb, Ta, and Zn -- at least one sort) At least one sort and D as which A was chosen from C, N, O, F, and S RDA, such as at least one sort chosen from V, Cr, Mn, Fe, Co, and nickel or GaMnN, AlMnN, GaAlMnN, and AlBMnN (R) one sort and D which were chosen from B, aluminum, Ga, and In -- V, Cr, Mn, Fe, Co, and nickel from -- one selected sort and A are chosen from what is represented by one etc. sort chosen from As, C, N, O, P, and S.

[0054] Drawing 8 shows the situation of a magnetic resistance element which used the ballistic conduction in a layered product.

[0055] The configuration which bears ballistic conduction between the 2nd magnetic layer which is not in contact with the 1st magnetic substance which touched the magnetization revolution control layer like drawing 8 (a) and which \*\*\*\*\* (ed) is shown. Such a configuration may arrange and constitute many conductors like drawing 8 (b). Moreover, it is desirable to arrange and constitute a nonmagnetic insulator like drawing 8 (c) around many conductors.

[0056] Moreover, it is effective, even if it carries out point contact of the 2nd magnetic substance to the 1st magnetic substance and constitutes it like drawing 8 (d). Furthermore, since the same effectiveness is acquired even if it forms the thin field which was made to elongate the magnetic substance like drawing 8 (e) as another gestalt, and was narrow in the part, it is desirable. As for the extension part in this case, it is desirable that it is at least 50nm or less. In these cases, a contact part or an extension part is in a superparamagnetism condition, and functions mainly as a ballistic conduction object.

[0057] When using a carbon tube as a conductor shown by drawing 8 (a), drawing 8 (b), and drawing 8 (c), it is desirable to use the buffer layer suitable for carbon tube orientation film creation, and functioning also as a magnetic film is most desirable. As a magnetic film here, Fe, Co, and nickel are suitable to carbon tube orientation, and it is especially FeCoNi as a magnetic resistance element of this invention. ( $0.1 \leq x \leq 1.0$ ,  $0 \leq y \leq 0.8$ ,  $0 \leq z \leq 0.9$ ,  $x+y+z=1$ ) Using is still more desirable.

[0058] The configuration of above-mentioned this invention is realizable using a usual thin film process and a usual micro-processing process. To formation of each magnetic layer, an antiferromagnetism layer, a layer insulation layer, an electrode, etc., it is producible with PVD, such as the sputtering methods, such as pulse laser deposition (PLD), ion beam deposition (IBD), an ionized cluster beam or RF, DC and ECR, Helicon, ICP, or an opposite target, MBE, and the ion plating method, other CVD(s) and plating, or a sol gel process.

[0059] Moreover, as micro processing, it can attain by physical or combining a chemical etching method and the photolithography technique which used the stepper, the EB method, etc. for detailed pattern formation, such



as ion milling used in a semi-conductor process, a GMR head production process, etc., and RIE, FIB. Moreover, it is also effective to use CMP and cluster-ion beam etching for surface flattening, such as an electrode.

[0060] moreover, the magnetic memory which carries out reading appearance and sometimes obtains high power by using the magnetic resistance element of said configuration is producible.

[0061] The example of the magnetic memory using the magnetic resistance element of the above-mentioned configuration as a memory device is shown in drawing 12. As a component used as memory, which configuration of the magnetic resistance element of said configuration may be used. A component is arranged at the matrix at the intersection of the bit line which is a record line made based on Cu or aluminum as represented by M (i, j) of drawing 12, and a word line, and signaling information is recorded by 2 current coincidence method using the synthetic field generated when the signal current is passed on each line. When the distance over the recording layer of the component of a bit line and a word line differs, the seal of approval of the current is carried out to a both line so that a field efficient for component actuation may carry out a seal of approval to a recording layer.

[0062] Next, when the time amount of this addressing is accelerated, an inductive-coupling current or a capacitive joint current may occur to a record line odor, and the cross talk of gestalt with one [ another ] more may arise because spacing between record lines narrows. As one approach of controlling these, as shown in drawing 17 R> 7, it is desirable to prepare the tie grounded between record lines. Drawing 17 (a) shows the case of the arrangement which puts a magnetic resistance element like drawing 17 (b) as another gestalt, when the tie has been horizontally arranged to a word line. It is easy to concentrate at the free layer whose field is a recording layer in the case of drawing 17 (b) and is desirable. Moreover, in order for wiring thickness to become large compared with wiring width of face and to have a longwise cross-section configuration as detailed-ization progresses, association is easy to take and is more desirable [ the arrangement as shown in drawing 17 (a) ]. When such a tie is realized in the magnetic memory device of drawing 13 (b), wiring arrangement serves as a configuration like drawing 18.

[0063] First, in drawing 13 and drawing 14, it explains to the basic example of the write-in actuation by the current of a magnetic memory device, and reading actuation just. In addition, in each drawing, the magnetic resistance element shown in drawing 1 as an example is used as a memory device.

[0064] By drawing 13 (a) and drawing 13 (b), in order to read the magnetization condition of a component according to an individual, the configuration which prepared the switching device represented by FET for every component is shown. This magnetic memory can be easily constituted on a CMOS substrate. Moreover, drawing 13 (c) and drawing 13 (d) show the configuration which used the nonlinear element or the rectifying device for every component. Here, a varistor, and a tunnel component or 3 terminal component of said configuration may be used for a nonlinear element. This magnetic memory only increases the membrane formation process of diode etc., and can produce a substrate also on a cheap \*\* glass substrate. Here, the example when drawing 13 (a) and drawing 13 (c) have arranged two recording layers in the upper part of a component and both drawing 13 (b) and drawing 13 (d) have arranged them in the upper part and the lower part of a component is shown. Moreover, in drawing 14, it is considering as the configuration by which a component is arranged at the intersection of a direct word line and a bit line not using the switching device for isolation as shown in each drawing of drawing 13, or the rectifying device. therefore, in drawing 14, in order that reading appearance may be carried out and a current may sometimes flow ranging over two or more components, it is desirable from the precision of read-out that they are 10000 or less elements. In 10000 or more elements, an output is no longer obtained enough.

[0065] In each drawing of drawing 13, although the case where a bit line is used together with the sense line which passes a current for a component and reads resistance change is shown, in order to prevent malfunction and component destruction by the bit current, a sense line and a bit line may be formed separately, respectively. As for a bit line, at this time, it is desirable to be the location insulated by the component and the electric target, and to arrange to a sense line and parallel. Moreover, as for the distance between a word line, a bit line, and a memory cell, in current writing, it is desirable that it is about 500nm or less from the point of power consumption.

[0066] Next, the example of the cellular structure of the multilayer-interconnection memory which performs the writing by the current field to drawing 15 and drawing 16 is shown. Drawing 15 is the multilayer interconnection produced on the switching device represented by FET, and drawing 16 shows the multilayer



interconnection formed through the rectifying device or nonlinear element represented by diode and the tunnel component. A switching device, and a rectifying device or a nonlinear element serves to perform electrical isolation of adjoining components. When it is a multilayer interconnection without these electrical isolation components, it is necessary to take the architecture which makes 1 block the aggregate of the memory cell of the 10000 maximum numbers from sense sensibility.

[0067] Moreover, at the time of output detection of the magnetic resistance element explained here, it is realizable by using a detector like drawing 19. For example, it is desirable, when wiring resistance and criteria component resistance can be canceled, it accumulates and high S/N-ization can be easily realized by taking an output difference with the comparison resistance including wiring resistance.

[0068] When magnetic memory is constituted, comparison resistance can constitute desired magnetic memory, if it arranges as drawing 20 showed.

[0069] To the word line and bit line for field generating which are used here, conductivity is high, and it is desirable to them that critical current density mainly uses Cu strong against 106-107 A/cm<sup>2</sup> and electromigration. Furthermore, mainly using the carbon tube which is 109 A/cm<sup>2</sup> also has critical current density effective in high field generating, and it is desirable.

[0070] Furthermore, the example of concrete operation is shown below.

[0071] (Example 1) The thin line of Si was first created using SOI (Silicon on Insulator) / SiO<sub>2</sub> substrate.

[0072] The SOI layer thin-film-ized by thermal oxidation and wet etching was oxidized thermally, and SOI (20)/SiO<sub>2</sub> (25) was formed. Here, SiO<sub>2</sub> (25) themselves was used as a resist object, EB (electron beam) processing was performed, and thin line pattern drawing which has the width of face of five to 50 nm was performed. The amount of Dose(s) used for drawing in this case was 1-10 C/cm<sup>2</sup>. It carried out to development using buffered fluoric acid (HF=0.2 mol/l, NH<sub>4</sub>=0.2 mol/l). Then, RIE (reactive ion etching) was performed, the SOI layer was processed, again, the SiO<sub>2</sub> two-layer of a resist object was removed using buffered fluoric acid, and the thin line of Si of desired 5-50nm size was obtained. Then, thermal diffusion of Lynn using PSG (Lynn silicic-acid glass) was performed about about 10 minutes at 800 degrees C, it doped to the whole thin line, and conductivity was given. Carrier concentration in this case was set to 10<sup>17</sup>-10<sup>21</sup>/cm<sup>3</sup>. Furthermore, after Si thin line creation, the insulating oxide film of about 1 - 5nm was created by thermal oxidation in the thin line front face. Then, instant thermal oxidation was performed for the thin amorphous silicon layer, and Si dot whose path is about 2 - 10nm was formed on the thin line. thereby, the effectiveness of single electronic charging carries out induction -- having -- ballistic one -- the KOTONNERU conduction effectiveness is expected \*\*\*\*. The usual organic resist object was deposited on this micro-processing part ( drawing 9 (a)), plural spatters were used on it, and the sample was produced in the following ways.

[0073] Sample 1Ta(1) / CoFe(15) / Ta (15) (the unit in a parenthesis is nm)

As shown in this sample as shown in drawing 9 (b) through processes, such as a lift off, at drawing 9 (c), the arrangement configuration was acquired, and that arrangement also created the structure of drawing 9 (e) through the same photolithographic process after the antiferromagnetic substance PtMn(45) deposition ( drawing 9 (d)) as a magnetization revolution control layer. The component was completed by finally, arranging electrode object Ta(5) / Cu (200) / Ta (50), as shown in drawing 9 (f).

[0074] The seal of approval of the field was carried out from the exterior to the created component, and the electrical property between electrode objects was evaluated. The seal of approval of the seal of approval of a field was carried out to parallel at the longitudinal direction of a thin line. The size of the thin line at the time of evaluating was about 250nm in width of face of 10nm, the thickness of 20nm, and die length.

[0075] The magnetic-reluctance rate of change observed at the room temperature in the component which processed the sample 1 was about 8%.

[0076] In order to evaluate effectiveness more notably, when it carried out under low temperature (5K), magnetic-reluctance rate of change was a maximum of 30%.

[0077] Here, although the process shown in drawing 9 realized component processing, if the component for which not only this but \*\* has the same structure is realizable, this invention will not be restricted to this in order to demonstrate desired effectiveness.

[0078] Moreover, although CoFe was used as the magnetic substance here, magnetic-reluctance change was observed also in Fe, Co, nickel, a FeCo alloy, a NiFe alloy, a CoNi alloy, a NiFeCo alloy or FeCr, FeSiAl, FeSi, FeAl, FeCoSi, FeCoAl, FeNiPt, FePd, FeRh, FeIr, FeRu, FePt, and FeV.

[0079] Moreover, as a conductor, although Cu was mainly used, even if it used aluminum, Ag, Au, and Pt, magnetic-reluctance change was observed.

[0080] Moreover, as the antiferromagnetic substance, although PtMn was used, even if it used PtPdMn, FeMn, IrMn, and NiMn, magnetic-reluctance change was observed.

[0081] (Example 2) On Si/SiO<sub>2</sub> substrate, it arranges in the location of a request of a carbon tube within \*\*\*\*\*, and an electrode configuration pattern is beforehand formed in a resist. Besides, SiO two-layer was deposited and the reverse pattern of an electrode configuration was formed in the lift off after that.

[0082] Next, the sample was produced in the following ways using plural spatters.

[0083] Sample 2AuCr(0 or 0.5)/CoFe (45)/Ta(15) sample 3AuCr(0 or 0.5)/AlO(0.5)/CoFe(45) / Ta (15) (a unit is nm)

And the component as eventually shown in drawing 1 was completed using the photolithographic approach shown in drawing 9 as fundamental technique.

[0084] Here, as for die length of about 250nm in the minimum section, and width of face and height, between the magnetic substance was about 3nm in a part for the diameter of a carbon tube, using a monolayer carbon tube as a conductor. SiO<sub>2</sub> (200nm) was used as an insulator for the protection on a conductor. PtMn (60) was used as the antiferromagnetic substance, Ta(5) / Cu (200) / Ta (50) was used as an electrode object, and the component was completed.

[0085] in addition, () of AlO() -- the inner value showed the total value of the design thickness of aluminum before oxidation treatment, and repeated and produced oxidizing aluminum in an oxygen content ambient atmosphere after 0.3 - 0.7nm membrane formation actually. In this example, 0.5nm aluminum is oxidized and it is creating.

[0086] The seal of approval of the field was carried out from the exterior to the created component, and the electrical property between electrode objects was evaluated. The seal of approval of the seal of approval of a field was carried out to parallel at the longitudinal direction of a thin line.

[0087] In the component which processed the sample 2, the magneto-resistive effect was observed at the room temperature.

[0088] In order to evaluate effectiveness more notably, when it carried out under low temperature (5K), magnetic-reluctance rate of change was a maximum of 12% (refer to drawing 22 ).

[0089] Moreover, the magneto-resistive effect was observed also in the component which processed the sample 3.

[0090] When carried out under low temperature (5K), magnetic-reluctance rate of change was a maximum of 22%. It has suggested that the direction at the time of minding an insulator between the carbon tubes which are the magnetic substance and a conductor is efficient, and impregnation of a spin polarization electron is possible.

[0091] Here, although the process shown in drawing 9 realized component processing, if the component for which not only this but \*\* has the same structure is realizable, this invention will not be restricted to this in order to demonstrate desired effectiveness.

[0092] Moreover, although CoFe was used as the magnetic substance here, magnetic-reluctance change was observed also in Fe, Co, nickel, a FeCo alloy, a NiFe alloy, a CoNi alloy, a NiFeCo alloy, a NiFeCo-cyanogen complex or FeN, FeTiN, FeAlN, FeSiN, FeTa<sub>2</sub>N, FeCoN, FeCoTiN, FeCoAlSiN, FeCoTa<sub>2</sub>N or CoFeV, CoFePt, CoFeTa, and CoFeB.

[0093] Since the same effectiveness is acquired as a conductor even if it uses a multilayer carbon tube although the monolayer carbon tube was used here, it does not restrict to this. The width of face of the tube in this case is 2nm - about 30nm.

[0094] Moreover, as an electrode object, although Cu was mainly used, even if it used aluminum, Ag, Au, and Pt, magnetic-reluctance change was observed.

[0095] Moreover, as the antiferromagnetic substance, even if it used not only PtMn but PtPdMn, FeMn, IrMn, and NiMn, magnetic-reluctance change was observed.

[0096] Or since one side of a magnetic electrode had high coercive force on parenchyma even if it arranges CoPt which is the high holding power magnetic substance instead of the antiferromagnetic substance, FePt, CoCrPt, CoTaPt, FeTaPt, and FeCrPt, a desired magnetic-reluctance change has been observed.

[0097] (Example 3) The sample was produced in the following ways using plural spatters on the Si/SiO<sub>2</sub>

substrate.

[0098] Sample 4NiO(50) / Ta (5) (a unit is nm)

And an approach photolithographic as fundamental technique is used. After processing the film of a sample 4 into a desired pattern and carrying out the spatter of the Ta of the sample 4 film upper layer using a reverse spatter after that The carbon tube has been arranged in the location of the processing edge of sample 4 film within \*\*\*\*\* on it, AuCr(0 or 0.5)/AlO(0.5)/CoFe (30nm) / Ta (15) was deposited and processed as a magnetic film, and the component of arrangement of drawing 3 (b) was completed. It is most suitable to make the include angle of the slant face at this time into 70 degrees from 25 degrees. When it was this range, the rendering student was the best and the magnetic resistance element has been created. When using a carbon tube and it is in this range, bending [ edge / of a carbon tube ] has the desirable effect which that conduction property has few.

[0099] As for die length of about 250nm in the minimum section, and width of face and height, between the magnetic substance was about 3nm in a part for the diameter of a carbon tube here, using a monolayer carbon tube as a conductor. SiO<sub>2</sub> (200nm) is used as an insulator for the protection on a conductor. The component was completed using Ta(5) / Cu (200) / Ta (50) as an electrode object.

[0100] As this example shows, it patternizes beforehand in the antiferromagnetism layer which is a magnetization revolution control layer, and since it is simpler than arrangement of drawing 1 that the direction which arranges a conductor on it completes a component, it is desirable. Furthermore, when the direction of arrangement of drawing 3 (b) performs micro processing of a conductor, and arranging in a minute location, since it is simpler than arrangement of drawing 3 (a), it is desirable.

[0101] The seal of approval of the field was carried out from the exterior, and the electrical property between electrode objects was evaluated.

[0102] In the component which processed the sample 4, the magneto-resistive effect was observed at the room temperature.

[0103] In order to evaluate effectiveness more notably, when it carried out under low temperature (5K), magnetic-reluctance rate of change was a maximum of 22%.

[0104] Here, although the process shown in drawing 9 realized component processing, if the component for which not only this but \*\* has the same structure is realizable, this invention will not be restricted to this in order to demonstrate desired effectiveness.

[0105] Then, insulator film SiO<sub>2</sub> for protection to the carbon tube top which is the conductor of the component which processed and created the sample 4 (100nm) Instead, the gate electrode for electric-field seals of approval has been arranged through another insulator. The used insulator used Cu phthalocyanine film (50nm) / Cu (150) / Ta (50) as the phthalocyanine film (5nm) and an electrode object.

[0106] When an electric-field seal of approval is changed from -1V to 5V, the magnetic-reluctance change is measured at a room temperature using a gate electrode, an electric-field seal of approval is zero and the magnetization direction of both magnetic layers gathers, the property that resistance becomes low compared with except [ its ] is shown. When behavior with a magnetic-reluctance change complicated when 1V seal of approval of the electric field is carried out from 0 was shown and the magnetization direction gathered by the case, resistance did not necessarily become low. Furthermore, if the seal of approval of the electric field is carried out, magnetic-reluctance change will no longer be seen by about 5 V. Thereby, a magnetic-reluctance property is controllable by the electric-field seal of approval.

[0107] Moreover, although CoFe was used as the magnetic substance here, even if it used Fe, Co, nickel, the FeCo alloy, the NiFe alloy, the CoNi alloy, and the NiFeCo alloy, magnetic-reluctance change was observed.

[0108] Moreover, although the phthalocyanine was used as an insulator of the gate section, the advantage in which the affinity of both carbon tube and phthalocyanine was very good here, and a contact interface could create smoothly was checked.

[0109] Moreover, as an electrode object, although Cu was mainly used, even if it used aluminum, Ag, Au, and Pt, magnetic-reluctance change was observed.

[0110] Moreover, as the antiferromagnetic substance, although insulating NiO was used, even if it used alpha-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CrO/NiO, and RFeO<sub>3</sub> (R is rare earth elements and is La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, and Yb), magnetic-reluctance change was observed.

[0111] (Example 4) By the same technique as an example 1, the thin line of Si was first created using SOI/SiO<sub>2</sub>

substrate.

[0112] After obtaining the thin line of Si of desired 5-50nm size, thermal diffusion of Lynn using PSG (Lynn silicic-acid glass) was performed about 10 minutes at 800 degrees C, it doped to the whole thin line, and conductivity was given. Carrier concentration in this case was set to  $10^{19}/\text{cm}^3$ . Furthermore, after Si thin line creation, the about 2.5nm insulating oxide film was created by thermal oxidation in the thin line front face. Furthermore, after Si thin line creation, the insulating oxide film of about 1 - 5nm was created by thermal oxidation in the thin line front face. Then, instant thermal oxidation was performed for the thin amorphous silicon layer, and Si dot whose path is about 2 - 10nm was formed on the thin line. Thereby, the effectiveness of single electronic charging is expected. Besides about 20 - 100nm of TEOS (tetra-ethoxy run) film was deposited, and the poy-Si gate was further created as a gate electrode on this. The created gate width was created by ten to 100 nm using the detailed-ized technique of O<sub>2</sub> ashing. As a type of this example, it was about 40nm. The usual organic resist object was deposited on this micro-processing part, plural spatters were used on it, and the sample was produced in the following ways.

[0113] Sample 5Ta(1) / CoFe(15) / Ta (15) (the unit in a parenthesis is nm)

Creation of a component was performed like the time of an example 1 according to the process of drawing 9. The component was completed by finally, arranging electrode object Ta(5) / Cu (200) / Ta (50), as shown in drawing 9 (f). Moreover, PtMn (50) was used as the antiferromagnetic substance.

[0114] The seal of approval of the field was carried out from the exterior to the created component, and the electrical property between electrode objects was evaluated under the gate electric-field seal of approval. The seal of approval of the seal of approval of a field was carried out to parallel at the longitudinal direction of a thin line.

[0115] When an electric-field seal of approval is changed from -1V to 5V, the magnetic-reluctance change is measured at a room temperature using a gate electrode, an electric-field seal of approval is zero and the magnetization direction of both magnetic layers gathers, the property that resistance becomes low compared with except [ its ] is shown. When behavior with a magnetic-reluctance change complicated when 1V seal of approval of the electric field is carried out from 0 was shown and the magnetization direction gathered by the case, resistance did not necessarily become low. Furthermore, if the seal of approval of the electric field is carried out, magnetic-reluctance change will no longer be seen by about 5 V. Thereby, a magnetic-reluctance property is controllable by the electric-field seal of approval.

[0116] The magnetic-reluctance rate of change observed at the room temperature in the component which processed the sample 5 was about 8%.

[0117] In order to evaluate effectiveness more notably, when it carried out under low temperature (5K), magnetic-reluctance rate of change was a maximum of 30%.

[0118] Here, although the process shown in drawing 9 realized component processing, if the component for which not only this but \*\* has the same structure is realizable, this invention will not be restricted to this in order to demonstrate desired effectiveness.

[0119] Moreover, although CoFe was used as the magnetic substance here, magnetic-reluctance change was observed also in Fe, Co, nickel, a FeCo alloy, a NiFe alloy, a CoNi alloy, a NiFeCo alloy or FeCr, FeSiAl, FeSi, FeAl, FeCoSi, FeCoAl, FeNiPt, FePd, FeRh, FeIr, FeRu, FePt, and FeV.

[0120] Moreover, as a conductor, although Cu was mainly used, even if it used aluminum, Ag, Au, and Pt, magnetic-reluctance change was observed.

[0121] Moreover, as the antiferromagnetic substance, although PtMn was used, even if it used PtPdMn, FeMn, IrMn, and NiMn, magnetic-reluctance change was observed.

[0122] (Example 5) On Si/SiO<sub>2</sub> substrate, it arranges in the location of a request of a carbon tube within \*\*\*\*\*, and an electrode configuration pattern is beforehand formed in a resist. Besides, SiO two-layer was deposited and the reverse pattern of an electrode configuration was formed in the lift off after that.

[0123] Next, the sample was produced in the following ways using plural spatters.

[0124] Sample 6AuCr(0 or 0.5)/AlO(0.5)/CoFe(45) / Ta (15) (a unit is nm)

And the component as eventually shown in drawing 7 (d) was completed using the photolithographic approach shown in drawing 9 as fundamental technique. The SiO<sub>2</sub> gate oxide of the thermal oxidation which is a nonmagnetic insulator is about 100 to 300 nm, and used Si substrate as a gate electrode.

[0125] Here, as for die length of about 150nm in the minimum section, and width of face and height, between

the magnetic substance was about 3nm in a part for the diameter of a carbon tube, using a monolayer carbon tube as a conductor. SiO<sub>2</sub> (200nm) was used as an insulator for the protection on a conductor. PtMn (60) was used as the antiferromagnetic substance, Ta(5) / Cu (200) / Ta (50) was used as an electrode object, and the component was completed.

[0126] in addition, () of AlO() -- the inner value showed the total value of the design thickness of aluminum before oxidation treatment, and repeated and produced oxidizing aluminum in an oxygen content ambient atmosphere after 0.3 - 0.7nm membrane formation actually. In this example, 0.5nm aluminum is oxidized and it is creating.

[0127] The seal of approval of the field was carried out from the exterior to the created component, and the electrical property between electrode objects was evaluated. The seal of approval of the seal of approval of a field was carried out to parallel at the longitudinal direction of a thin line.

[0128] In the component which processed the sample 6, the magneto-resistive effect was observed at the room temperature.

[0129] When carried out under low temperature (5K), magnetic-reluctance rate of change was a maximum of 20%. The seal of approval of the field was carried out from the exterior to the created component, and the electrical property between electrode objects was evaluated under the gate electric-field seal of approval. The seal of approval of the seal of approval of a field was carried out to parallel at the longitudinal direction of a thin line.

[0130] When an electric-field seal of approval is changed from -1V to 5V, the magnetic-reluctance change is measured at a room temperature using a gate electrode, an electric-field seal of approval is zero and the magnetization direction of both magnetic layers gathers, the property that resistance becomes low compared with except [ its ] is shown. When behavior with a magnetic-reluctance change complicated when 1V seal of approval of the electric field is carried out from 0 was shown and the magnetization direction gathered by the case, resistance did not necessarily become low. Furthermore, if the seal of approval of the electric field is carried out, magnetic-reluctance change will no longer be seen by about 5 V. Thereby, a magnetic-reluctance property is controllable by the electric-field seal of approval.

[0131] Moreover, although CoFe was used as the magnetic substance here, magnetic-reluctance change was observed also in Fe, Co, nickel, a FeCo alloy, a NiFe alloy, a CoNi alloy, a NiFeCo alloy, a NiFeCo-cyanogen complex or FeN, FeTiN, FeAlN, FeSiN, FeTa<sub>2</sub>N, FeCoN, FeCoTiN, FeCoAlSiN, FeCoTa<sub>2</sub>N or CoFeV, CoFePt, CoFeTa, and CoFeB.

[0132] Since the same effectiveness is acquired as a conductor even if it uses a multilayer carbon tube although the monolayer carbon tube was used here, it does not restrict to this. The width of face of the tube in this case is 2nm - about 30nm.

[0133] Moreover, as an electrode object, although Cu was mainly used, even if it used aluminum, Ag, Au, and Pt, magnetic-reluctance change was observed.

[0134] Moreover, as the antiferromagnetic substance, even if it used not only PtMn but PtPdMn, FeMn, IrMn, and NiMn, magnetic-reluctance change was observed.

[0135] Or since one side of a magnetic electrode had high coercive force on parenchyma even if it arranges CoPt which is the high holding power magnetic substance instead of the antiferromagnetic substance, FePt, CoCrPt, CoTaPt, FeTaPt, and FeCrPt, a desired magnetic-reluctance change has been observed.

[0136] (Example 6) The plural molecular-beams epitaxy technique was used on the GaAs (001) substrate, and the sample was produced in the following ways.

[0137] Sample 7GaAs(100)/MnAs(15) sample 8GaAs(100)/MnAs (50) (a unit is nm)

A substrate is made to defecate under the ambient atmosphere by As flux exposure at about 600 degrees C, it was made to deposit in about 600-degree C elevated temperature by having used the GaAs layer as the buffer layer, and the MnAs layer was made to once deposit after slight Mn flux exposure by the 200-250-degree C basis on it to a GaAs substrate with this sample. Deposited MnAs makes the field (-1101) the growth side. Moreover, from magnetization measurement of the film made to deposit, it was checked that both easy axes have [-110] GaAs bearing in both samples.

[0138] Using photolithographic technique as shown in this sample at drawing 9 , it forms in the pattern configuration of a request of POJIREJISUTO as mask material, and is processed into the thin film of the samples 7 and 8 which are the magnetic substance so that it may become a resist pattern configuration using the

dry etching by argon ion irradiation. Furthermore, a conductor is deposited on it and a desired configuration is acquired by the lift off. Moreover, a case performs configuration processing here using the photolithographic technique that the conductor was further explained here when it was required to make ballistic conduction into the configuration to manage. Moreover, it also checked that it did not matter even if it performs direct configuration processing using the associated equipment suitable for micro processing, such as a clock short hand of an electron beam, a convergence mold ion beam, and scanning tunnel current observation equipment accompanying, of course. Furthermore, by the case, when passivation is required, an insulator layer is deposited on a conductor.

[0139] Here, the used conductor is Au (10nm) film, and used the electronic exposure technique for exposure for POJIREJISUTO as mask material. The conductor performed die length of about 80nm in the minimum section, and, as for width of face, the minimum section processed [ magnetic inter-electrode one ] it in about 10nm. An insulator layer is SiO<sub>2</sub>. (100nm) It used.

[0140] Next, the sample 7 and the sample 8 performed deposition and processing for PtMn (60) as the antiferromagnetic substance, performed deposition and processing for Ta(5) / Pt (200) / Ta (50) as an electrode object, and realized structure of drawing 9 (f).

[0141] The seal of approval of the field was carried out from the exterior, and the electrical property between electrode objects was evaluated.

[0142] The magneto-resistive effect was observed in the component which processed the sample 7 and the sample 8.

[0143] In order to evaluate effectiveness more notably, when it carried out under the room temperature (300K), magnetic-reluctance rate of change was a maximum of 11% in the sample 6 a maximum of 10% in the sample 5. Furthermore in the bottom of low temperature (5K), magnetic-reluctance rate of change was a maximum of 20% in the sample 8 a maximum of 18% in the sample 7.

[0144] Furthermore, using a monolayer carbon tube as a conductor, die length of about 250nm in the minimum section, and width of face and height realized the configuration of the same drawing 9 (f) in about 20nm, and between the magnetic substance evaluated the electrical property by the configuration of a sample 8.

[0145] The magneto-resistive effect was observed also in this component.

[0146] When carried out under the room temperature (300K), the magnetic-reluctance rate of change of magnetic-reluctance rate of change was a maximum of 22% under low temperature (5K) further a maximum of 13%.

[0147] Here, although the process shown in drawing 9 realized component processing, if the component for which not only this but \*\* has the same structure is realizable, this invention will not be restricted to this in order to demonstrate desired effectiveness.

[0148] Moreover, although MnAs which is manganese PUNIKUTAIDO (Mn-V group element) as the magnetic substance here was used MnSb of the same kind or QDA (Q was chosen from Sc, Y, a lanthanoids, Ti, Zr, Hf, Nb, Ta, and Zn -- at least one sort) At least one sort and D as which A was chosen from C, N, O, F, and S RDA, such as at least one sort chosen from V, Cr, Mn, Fe, Co, and nickel or GaMnN, AlMnN, GaAlMnN, and AlBMnN (R) one sort and D which were chosen from B, aluminum, Ga, and In -- V, Cr, Mn, Fe, Co, and nickel from -- even if one selected sort and A use what is represented by one etc. sort chosen from As, C, N, O, P, and S, magnetic-reluctance change is checked.

[0149] Moreover, as a conductor, although Cu was mainly used, even if it used aluminum, Ag, and Pt, magnetic-reluctance change was observed.

[0150] Moreover, as the antiferromagnetic substance, although PtMn was used, even if it used PtPdMn, FeMn, IrMn, and NiMn, magnetic-reluctance change was observed.

[0151] (Example 7) The plural molecular-beams epitaxy technique was used on the GaAs (001) bearing substrate, and the sample was produced in the following ways.

[0152] Sample 9GaAs(100)/MnAs(15) sample 10GaAs(100)/MnAs (50) (a unit is nm)

Make a substrate defecate in the ambient atmosphere according a GaAs substrate to As flux exposure at about 600 degrees C, it was made to deposit in about 600-degree C elevated temperature by having used the GaAs layer as the buffer layer on it, and the MnAs layer was made to deposit with this sample by carrying out the little exposure of the As flux, and irradiating Mn after that at further 200-250 degrees C, in addition to As exposure. Deposited MnAs makes the field (-1100) the growth side. From magnetization measurement of the



film made to deposit, it was checked that the easy axis has [110] GaAs bearing in both samples of both.

[0153] The process same with having been shown in the example 5 among this sample at the sample 9 realized structure of drawing 9 (f).

[0154] The used conductor is Au (10nm) film, and used the electronic exposure technique for exposure for POJIREJISUTO as mask material. The conductor performed die length of about 80nm in the minimum section, and, as for width of face, the minimum section processed [ magnetic inter-electrode one ] it in about 10nm. An insulator layer is SiO<sub>2</sub>. (100nm) It used. PtMn (60) was used as the antiferromagnetic substance and Ta(5) / Pt (200) / Ta (50) was used as an electrode object.

[0155] The seal of approval of the field was carried out from the exterior, and the electrical property between electrode objects was evaluated.

[0156] The magneto-resistive effect was observed in the component which processed the sample 7.

[0157] In order to evaluate effectiveness more notably, when it carried out under the room temperature (300K), the magnetic-reluctance rate of change of magnetic-reluctance rate of change was a maximum of 25% under low temperature (5K) further a maximum of 13%.

[0158] On the other hand, it turned out that a sample 10 is mainly the antiferromagnetic substance from the result of magnetization measurement. Then, the film of a sample 8 was processed into the desired configuration using photolithographic technique, CoFe was deposited and processed as the magnetic substance on it, and, as for die length of about 80nm of a conductor, and width of face, the minimum section processed POJIREJISUTO into exposure in about 10nm, using an electronic exposure technique as mask material, using Au (10nm) film as a conductor. It is an insulator layer SiO<sub>2</sub> on it. (100nm) It deposited. The configuration of drawing 3 (b) was realized using Ta(5) / Pt (200) / Ta (50) as an electrode object.

[0159] The seal of approval of the field was carried out from the exterior also here, and the electrical property between electrode objects was evaluated.

[0160] The magneto-resistive effect was observed in the component which processed the sample 10.

[0161] When carried out under the room temperature (300K), the magnetic-reluctance rate of change of magnetic-reluctance rate of change was a maximum of 28% under low temperature (5K) further a maximum of 16%.

[0162] Furthermore, using a monolayer carbon tube as a conductor, die length of about 250nm in the minimum section, and width of face and height realized the configuration of drawing 3 (b) in about 20nm, and between the magnetic substance evaluated the electrical property by the configuration of a sample 10.

[0163] CoFe was used as the magnetic substance and Ta(5) / Pt (200) / Ta (50) was used as an electrode object.

[0164] The magneto-resistive effect was observed also in this component.

[0165] When carried out under the room temperature (300K), the magnetic-reluctance rate of change of magnetic-reluctance rate of change was a maximum of 38% under low temperature (5K) further a maximum of 18%.

[0166] Moreover, although MnAs was used as the magnetic substance of a sample 9 here MnSb of the same kind or QDA (Q was chosen from Sc, Y, a lanthanoids, Ti, Zr, Hf, Nb, Ta, and Zn -- at least one sort) At least one sort and D as which A was chosen from C, N, O, F, and S RDA, such as at least one sort chosen from V, Cr, Mn, Fe, Co, and nickel or GaMnN, AlMnN, GaAlMnN, and AlBMnN (R) one sort and D which were chosen from B, aluminum, Ga, and In -- V, Cr, Mn, Fe, Co, and nickel from -- even if one selected sort and A use what is represented by one etc. sort chosen from As, C, N, O, P, and S, magnetic-reluctance change is checked.

[0167] Moreover, although MnAs was used as what shows antiferromagnetism according to membrane formation conditions like a sample 10, this is considered that structural distortion and pressure are acting on change of magnetic property greatly. Therefore, even if it used the matter which has the antiferromagnetism caused by distortion and pressure induction, or carrier impregnation as a magnetization revolution control layer, it was checked that this invention is realizable.

[0168] Moreover, although CoFe was used as the magnetic substance in the sample 10, even if it used Fe, Co, nickel, the FeCo alloy, the NiFe alloy, the CoNi alloy, and the NiFeCo alloy, magnetic-reluctance change was observed.

[0169] Moreover, as a conductor, although Pt was mainly used, even if it used aluminum, Ag, and Cu, magnetic-reluctance change was observed.

[0170] Moreover, as the antiferromagnetic substance, although PtMn was used, even if it used PtPdMn, FeMn, IrMn, and NiMn, magnetic-reluctance change was observed.

[0171] (Example 8) The plural molecular-beams epitaxy technique was used on the GaAs (001) bearing substrate, and the sample was produced in the following ways. As an example 7 shows, in the magnetic resistance element shown in the example 7 which drawing 3 (b) constituted from a configuration of a sample 10, using a monolayer carbon tube as a conductor, the gate electrode for electric-field seals of approval has been arranged through an insulator to some conductors like drawing 10 (this configuration applies to the configuration of drawing 7 (a) correspondingly). The typical values of d in this example and D are 30nm and 250nm.

[0172] When carried out under the room temperature (300K), magnetic-reluctance rate of change showed the electric field effect like drawing 11 by the gate electric-field seal of approval a maximum of 18% by the gate electric-field zero state, and magnetic-reluctance change also became zero in gate voltage 6V.

[0173] Moreover, although MnAs was used as the magnetic substance of a sample 7 here MnSb of the same kind or QDA (Q was chosen from Sc, Y, a lanthanoids, Ti, Zr, Hf, Nb, Ta, and Zn -- at least one sort) At least one sort and D as which A was chosen from C, N, O, F, and S RDA, such as at least one sort chosen from V, Cr, Mn, Fe, Co, and nickel or GaMnN, AlMnN, GaAlMnN, and AlBMnN (R) one sort and D which were chosen from B, aluminum, Ga, and In -- V, Cr, Mn, Fe, Co, and nickel from -- even if one selected sort and A use what is represented by one etc. sort chosen from As, C, N, O, P, and S, magnetic-reluctance change is checked.

[0174] Moreover, although MnAs was used as what shows antiferromagnetism according to membrane formation conditions as shown in the example 7, this is considered that structural distortion and pressure are acting on change of magnetic property greatly. Therefore, even if it used the matter which has the antiferromagnetism caused by distortion and pressure induction, or carrier impregnation as a magnetization revolution control layer, it was checked that this invention is realizable.

[0175] Moreover, although CoFe was used as the magnetic substance in the sample 10, even if it used Fe, Co, nickel, the FeCo alloy, the NiFe alloy, the CoNi alloy, and the NiFeCo alloy, magnetic-reluctance change was observed.

[0176] Moreover, as a conductor, although Pt was mainly used, even if it used aluminum, Ag, and Cu, magnetic-reluctance change was observed.

[0177] Moreover, as the antiferromagnetic substance, although PtMn was used, even if it used PtPdMn, FeMn, IrMn, and NiMn, magnetic-reluctance change was observed.

[0178] (Example 9) By using the ion-implantation technique to a GaAs (001) substrate top, the impregnation-among GaAs substrate field of Mn ion was created. Mn ion was generated in the spatter. Mn ion produced in the spatter was drawn in the ion acceleration section, and it poured into the depth field from a GaAs substrate front face to about 50nm with acceleration voltage 100keV extent further. It is thought that an impregnation carrier is about 5.5% as x amounts converted as As ( $\text{Ga}_{1-x}\text{Mn}_x$ ) about [ about  $4 \times 10^{20} \text{cm}^{-3}$  ] by three. The Curie temperature estimated from magnetization measurement was about 100K.

[0179] On the base in which such ferromagnetism was formed, it has arranged in the location of a request of a carbon tube within \*\*\*\*\*, and after that, PtMn (50nm) was deposited and processed on one impregnation field, and the component with the configuration of drawing 4 (b) was created.

[0180] It is an insulator layer SiO<sub>2</sub> on the carbon tube which is a conductor. (100nm) Moreover, as an electrode object, Ta(5) / Pt (200) / Ta (50) was used.

[0181] The seal of approval of the field was carried out from the exterior, and the electrical property between electrode objects was evaluated.

[0182] When measured under low temperature (5K), magnetic-reluctance rate of change was a maximum of 10%.

[0183] Then, insulator film SiO<sub>2</sub> for protection to the carbon tube top which is the conductor of the component which processed and created the sample of created this example (100nm) Instead, the gate electrode for electric-field seals of approval has been arranged through an insulator. The used insulator used Ta(5) / Cu (200) / Ta (50) as the phthalocyanine film (50nm) and an electrode object.

[0184] When an electric-field seal of approval is changed from -1V to 5V, the magnetic-reluctance change is measured using a gate electrode, an electric-field seal of approval is zero and the magnetization direction of



both magnetic layers gathers, the property that resistance becomes low compared with except [ its ] is shown. When behavior with a magnetic-reluctance change complicated when 1V seal of approval of the electric field is carried out from 0 was shown and the magnetization direction gathered by the case, resistance did not necessarily become low. Furthermore, if the seal of approval of the electric field is carried out, magnetic-reluctance change will no longer be seen by about 5 V. Thereby, a magnetic-reluctance property is controllable by the electric-field seal of approval.

[0185] Moreover, although As was used as the magnetic substance (Ga, Mn) here QDA(s) (Q was chosen from Sc, Y, a lanthanoids, Ti, Zr, Hf, Nb, Ta, and Zn -- at least one sort), such as ZnDO or AlDN At least one sort and D as which A was chosen from C, N, O, F, and S RDA, such as at least one sort chosen from V, Cr, Mn, Fe, Co, and nickel or GaMnN, AlMnN, GaAlMnN, and AlBMnN (R) one sort and D which were chosen from B, aluminum, Ga, and In -- V, Cr, Mn, Fe, Co, and nickel from -- even if one selected sort and A use what is represented by one etc. sort chosen from As, C, N, O, P, and S, magnetic-reluctance change is checked.

[0186] Moreover, as a conductor, although Cu was mainly used, even if it used aluminum, Ag, Au, and Pt, magnetic-reluctance change was observed.

[0187] Moreover, as the antiferromagnetic substance, although PtMn was used, even if it used PtPdMn, FeMn, IrMn, and NiMn, magnetic-reluctance change was observed.

[0188] (Example 10) On porous Si substrate which etched electrochemically and was created using acetylene gas, Fe (50) was made in the desired location to carry out patterning in electron beam evaporation, and it was crowded. This Fe film works as a catalyst of the carbon tube orientation film. Carbon supply by methane is mainly performed, and orientation of the carbon tube created using the CVD method is carried out so that a longitudinal direction may stand to a film surface in the shape of Fe film. Moreover, it turned out that Fe of a catalyst has adhered at the head of the carbon tube which carried out orientation. Ta [ CoFe(50) / PtMn(50) / ] (15)/Au (200) was made to deposit on this by electron beam evaporation and the spatter, and the laminating mold component using a carbon tube was created.

[0189] The seal of approval of the field was carried out from the exterior, and the electrical property between electrode objects was evaluated.

[0190] In the processed component, the magneto-resistive effect was observed at the room temperature.

[0191] In order to evaluate effectiveness more notably, when it carried out under low temperature (5K), magnetic-reluctance rate of change was a maximum of 9%.

[0192] Moreover, although Fe and FeCo were used as the magnetic substance here, even if it uses nickel, Co, or a NiCoFe alloy, while a catalysis occurs, magnetic-reluctance change is checked.

[0193] Moreover, as the antiferromagnetic substance, although PtMn was used, even if it used PtPdMn, FeMn, IrMn, and NiMn, magnetic-reluctance change was observed.

[0194] Or since one side of a magnetic electrode had high coercive force on parenchyma even if it arranges CoPt which is the high holding power magnetic substance instead of the antiferromagnetic substance, FePt, CoCrPt, CoTaPt, FeTaPt, and FeCrPt, a desired magnetic-reluctance change has been observed.

[0195] (Example 11) Accumulation memory was produced by the memory device of a basic configuration as shown on a CMOS substrate at drawing 12. The component array made 16x16 memory 1 block, and was made into a total of 8 blocks. Here, sample 11Ta(1) / CoFe(15) / Ta (15) was used for the component with the (b) configuration of drawing 13.

[0196] The component cross section of a sample is 0.2micrometerx0.3micrometer, a free magnetic layer is set to NiFe (2), and the configuration is made into drawing 23 (a).

[0197] Moreover, all of a word line, a bit line, etc. used Cu.

[0198] By the synthetic field of a word line and a bit line, flux reversal of each free magnetic layer was simultaneously performed to eight elements of eight blocks, and the every 8 bits signal was recorded. Next, it was attached to each block, and turned on at a time the one gate of FET produced with CMOS, and the sense current was passed. At this time, the comparator compared the bit line within each block, the component and the electrical potential difference generated in FET, and the dummy electrical potential difference, and 8-bit information was simultaneously read in the output voltage of each component.

[0199] The ratio of the major axis and minor axis of the free magnetic layer in this case set to 1.5:1 (a major axis is 0.2 micrometers), and produced the accumulation memory which changed the configuration into drawing 23 (a) - (e). The power consumption which record of such memory takes was about about 3 of the configuration

of drawing 2323 (a) / five to 1/2 in the configuration of (b) - (e) of drawing 23 .

[0200]

[Effect of the Invention] As explained above, according to this invention, the two magnetic substance has touched through at least one conductor. By constituting the magnetic resistance element characterized by resistance changing with change of the magnetization angular relation of the two magnetic substance with which a magnetization revolution control layer touches \*\*, and only one side sandwiches said conductor between the two magnetic substance It can use as the magnetic memory which records and reads information, and various magnetic devices using resistance change of the magneto-resistive effect section by using as the free magnetic substance the magnetic substance which is not in contact with said magnetization revolution control layer. For this reason, the property of the stress, acceleration sensor or heat sensor which detects the reproducing head of magnetic recording media, such as a magneto-optic disk used for the conventional information communication terminal etc., a hard disk, a digital data streamer (DDS), and digital VTR, and a cylinder, the magnetic sensor for rotational-speed detection of an automobile etc., magnetic memory (MRAM), stress change, acceleration change, etc., a chemical reaction sensor, etc. can be raised.

---

[Translation done.]

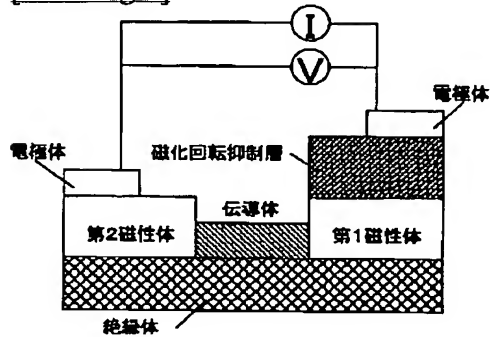
## \* NOTICES \*

JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

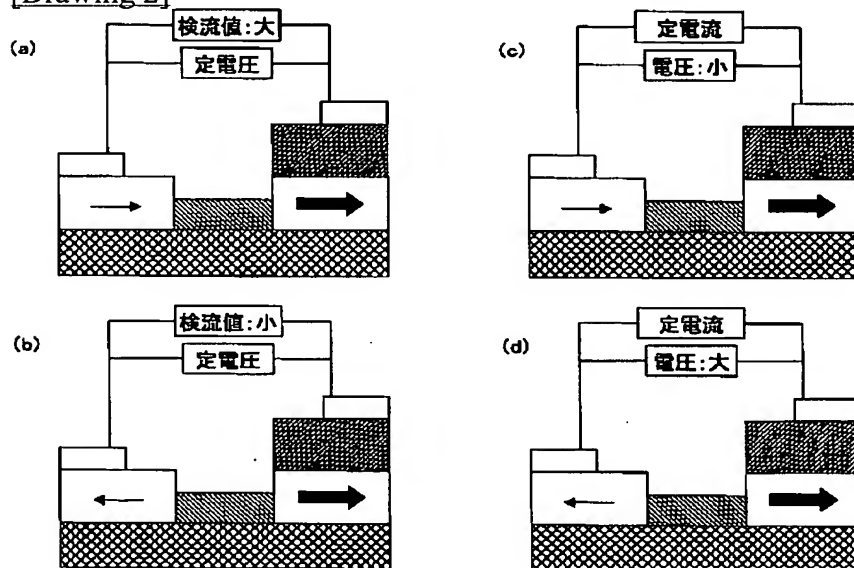
1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

## DRAWINGS

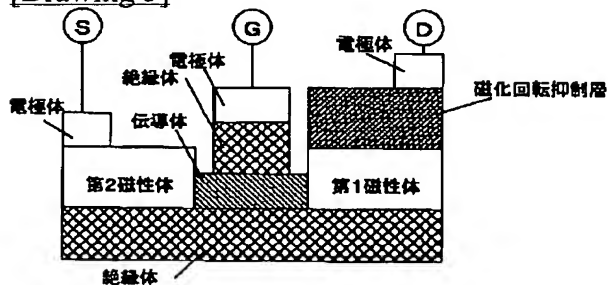
[Drawing 1]



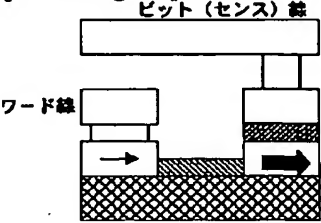
[Drawing 2]



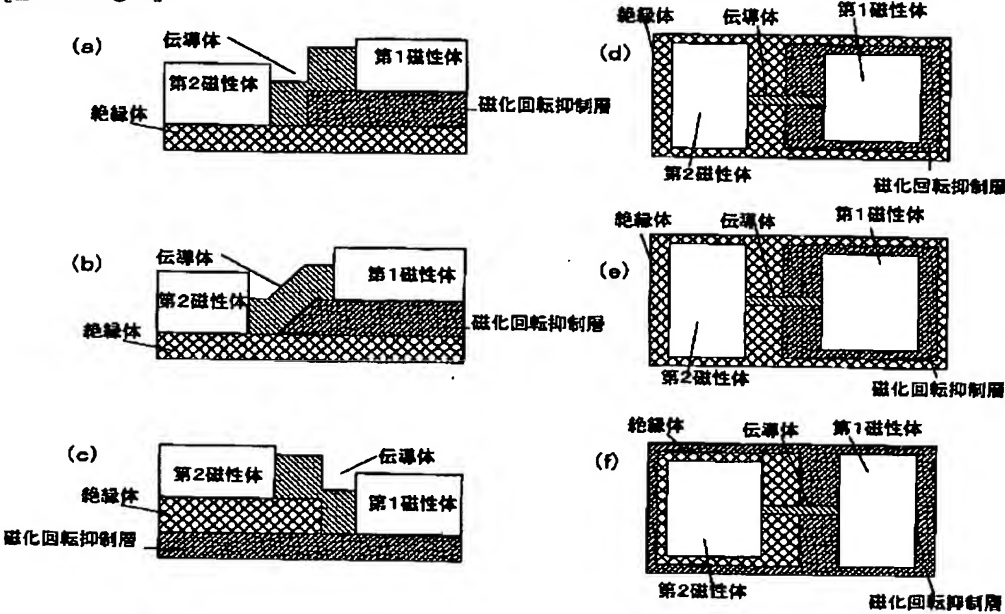
[Drawing 5]



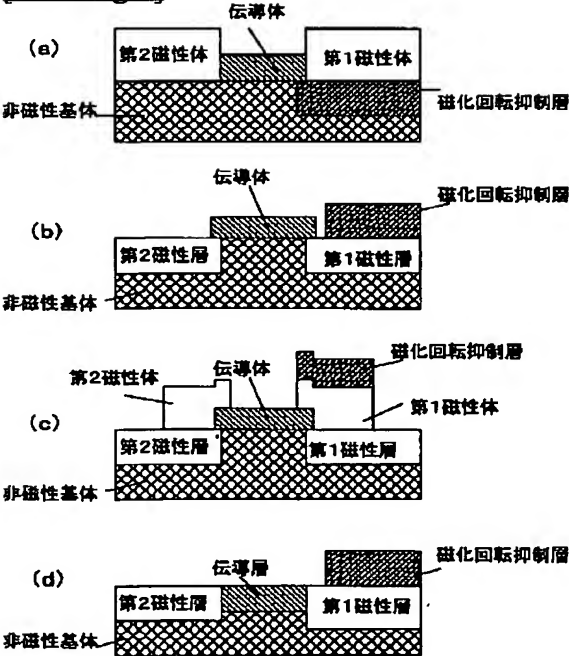
[Drawing 14]



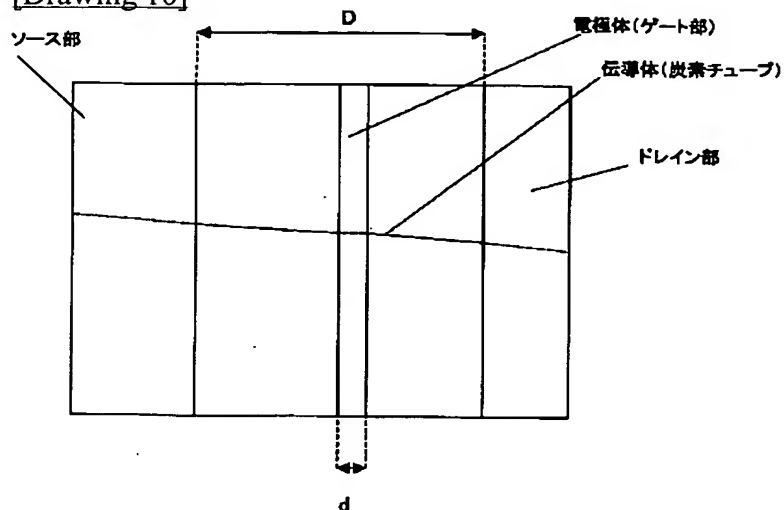
[Drawing 3]



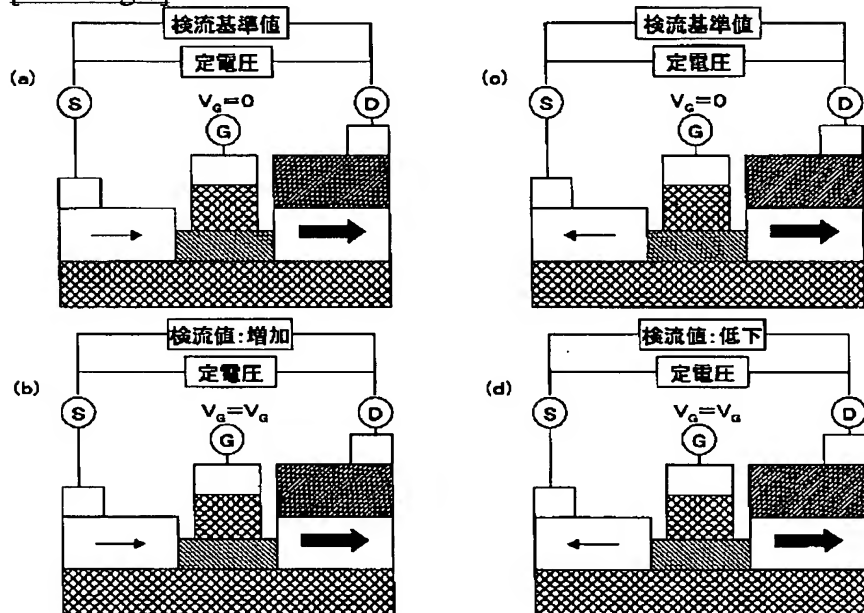
[Drawing 4]



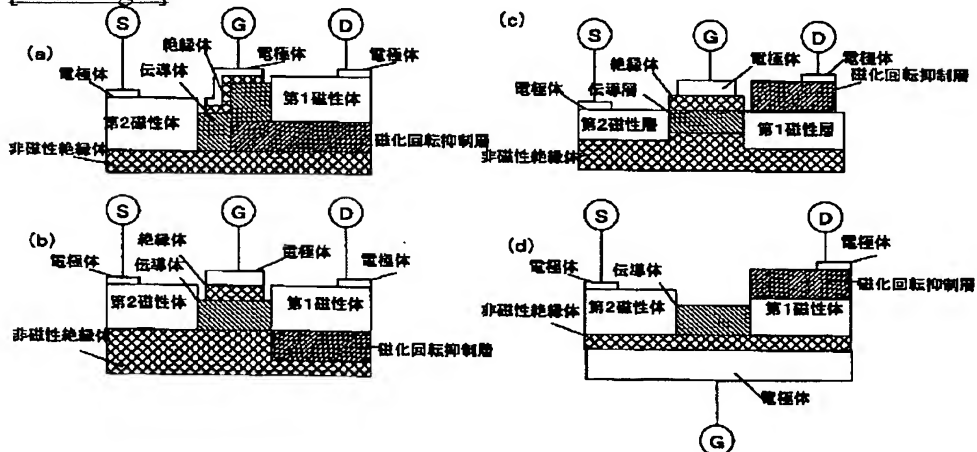
[Drawing 10]



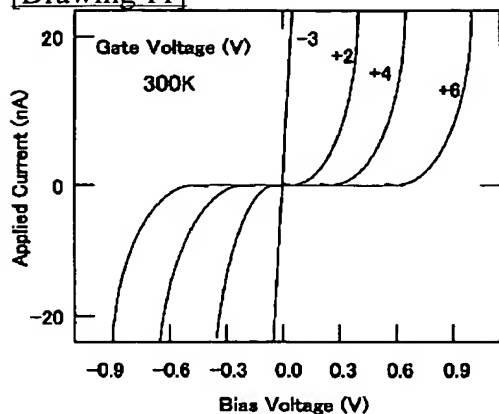
[Drawing 6]



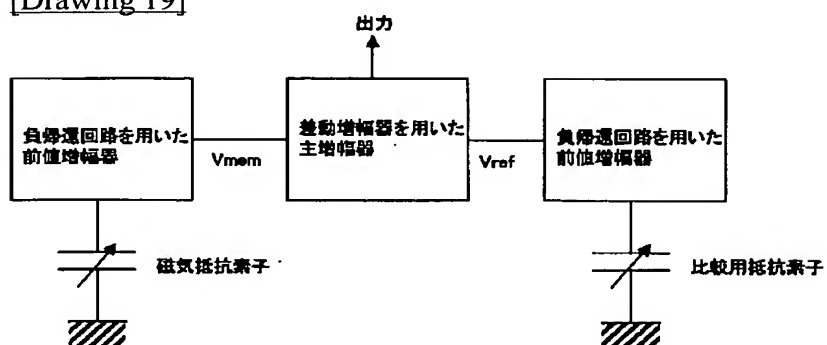
[Drawing 7]



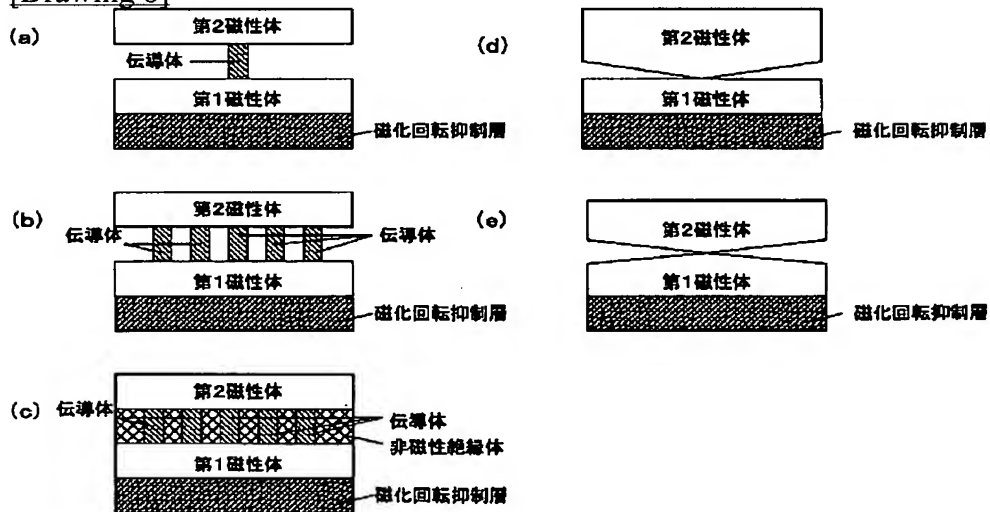
[Drawing 11]



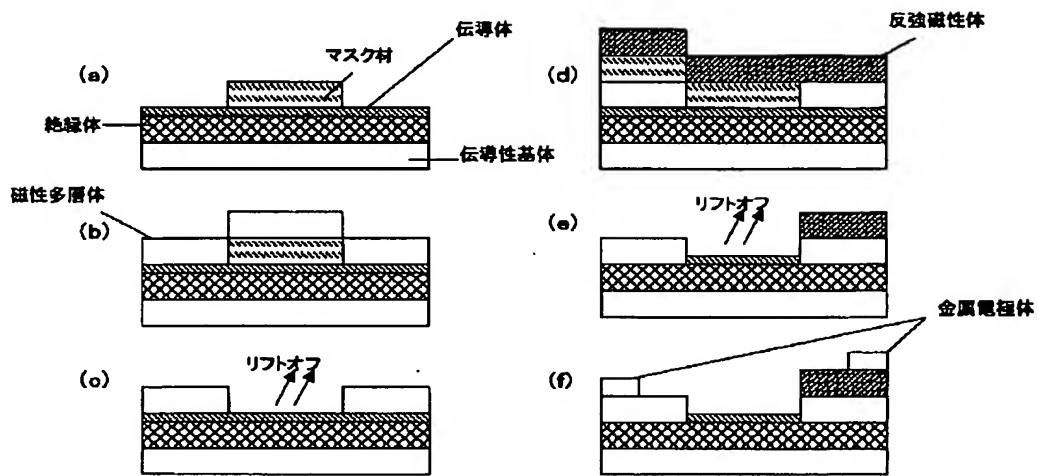
[Drawing 19]



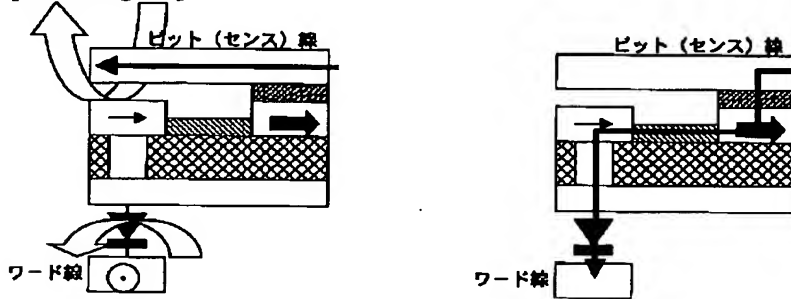
[Drawing 8]



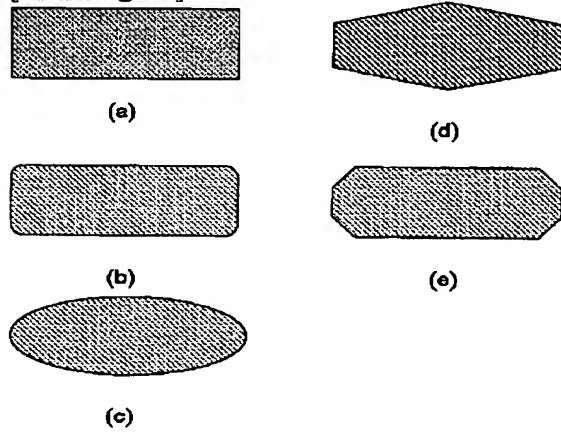
[Drawing 9]



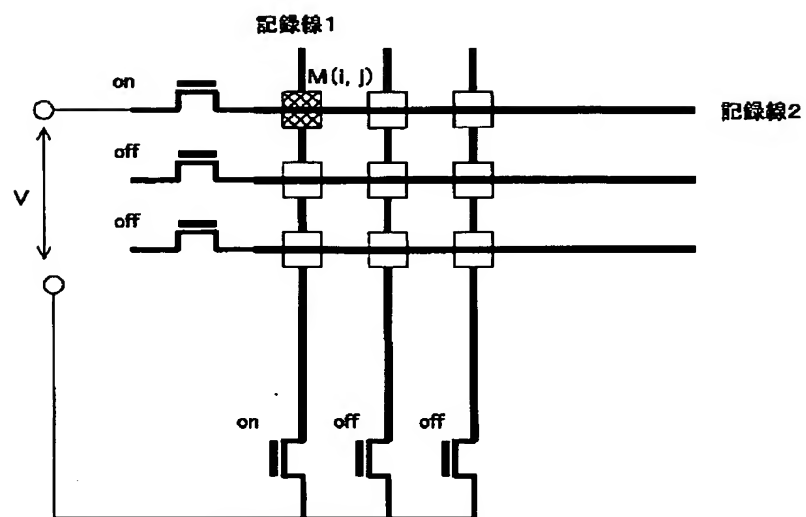
[Drawing 16]



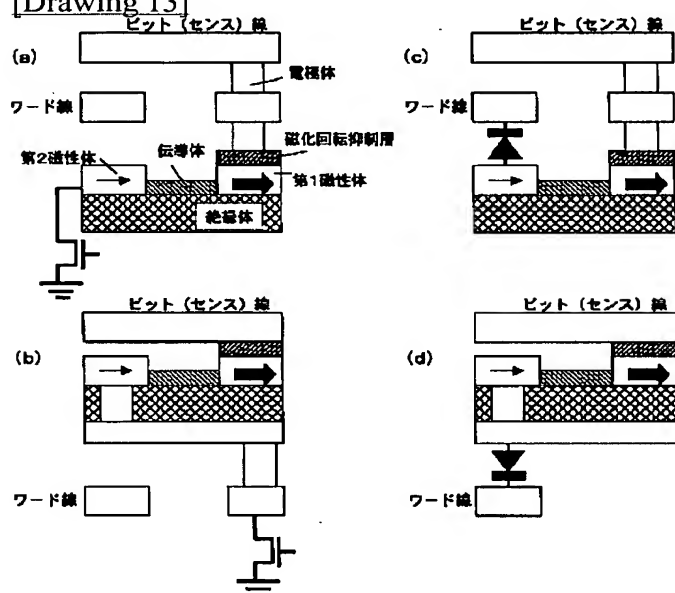
[Drawing 23]



[Drawing 12]

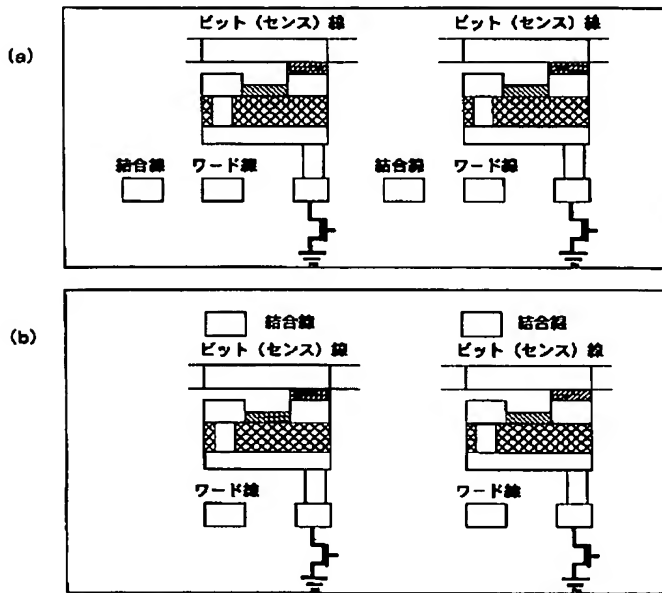


[Drawing 13]

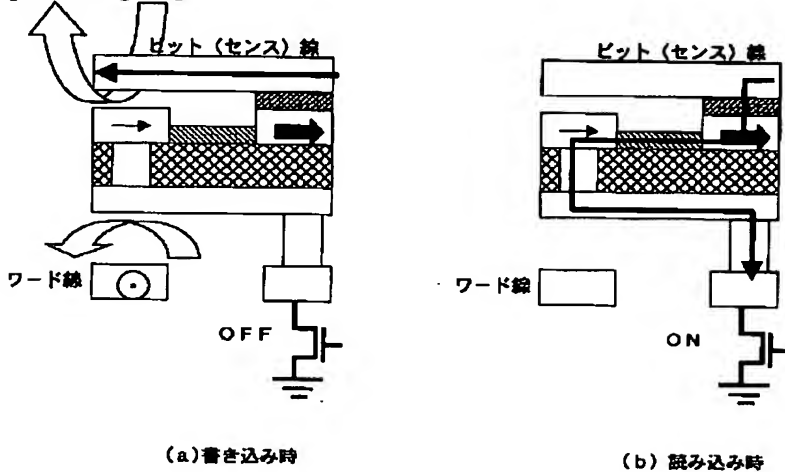


[Drawing 17]

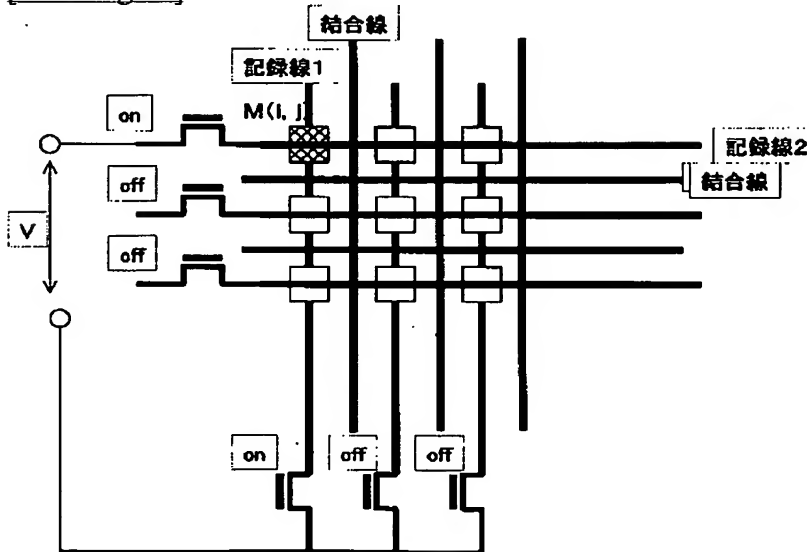




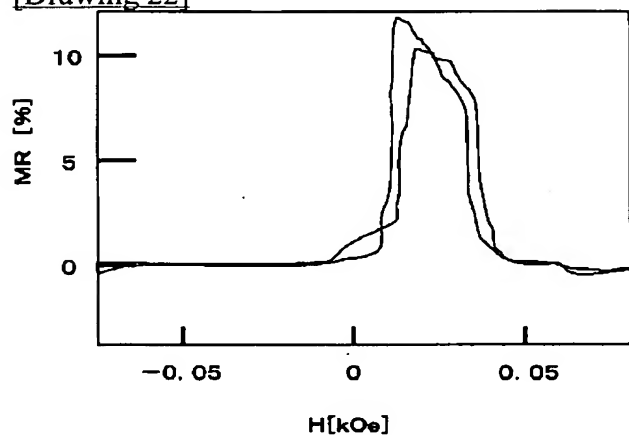
[Drawing 15]



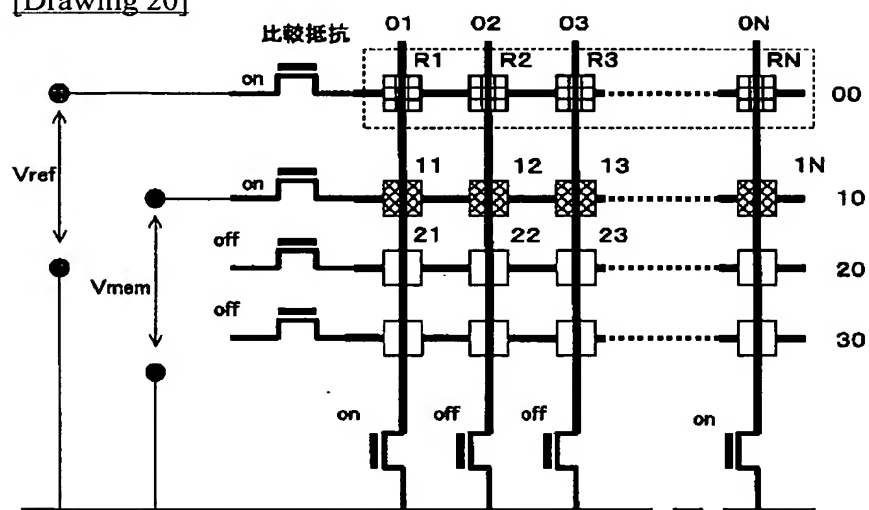
[Drawing 18]



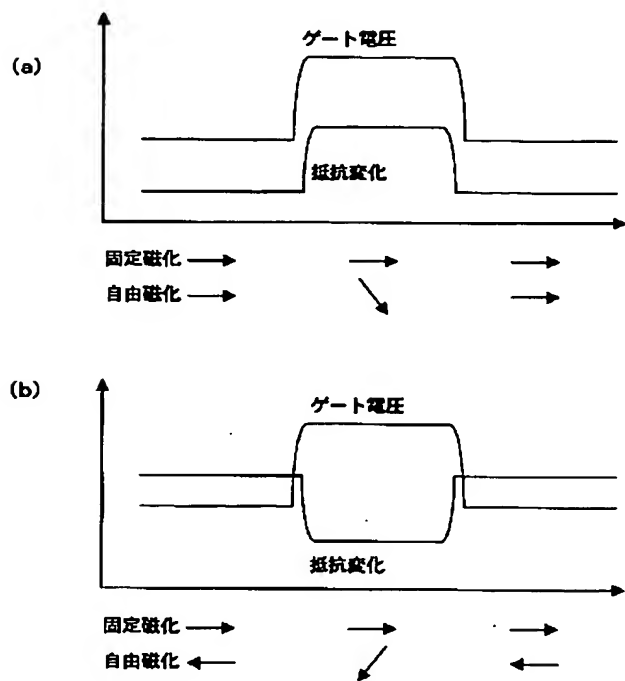
[Drawing 22]



[Drawing 20]



[Drawing 21]



[Translation done.]